



Contribution à la datation du volcanisme quaternaire du Massif Central français par thermoluminescence des inclusions de quartz et comparaison avec d'autres approches : implications chronostratigraphiques et paléoenvironnementales.

Jean-Paul Raynal, Marie-Madeleine Paquereau, Jean-Pierre Daugas, Jean Fain, Didier Miallier, Serge Sanzelle

► To cite this version:

Jean-Paul Raynal, Marie-Madeleine Paquereau, Jean-Pierre Daugas, Jean Fain, Didier Miallier, et al.. Contribution à la datation du volcanisme quaternaire du Massif Central français par thermoluminescence des inclusions de quartz et comparaison avec d'autres approches : implications chronostratigraphiques et paléoenvironnementales.. Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire, 1985, 4, pp.183-207. halshs-00005528

HAL Id: halshs-00005528

<https://shs.hal.science/halshs-00005528>

Submitted on 13 Nov 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONTRIBUTION À LA DATATION DU VOLCANISME QUATERNAIRE DU MASSIF CENTRAL FRANÇAIS PAR THERMOLUMINESCENCE DES INCLUSIONS DE QUARTZ ET COMPARAISON AVEC D'AUTRES APPROCHES : IMPLICATIONS CHRONOSTRATIGRAPHIQUES ET PALÉOENVIRONNEMENTALES



par Jean-Paul RAYNAL (1), Marie-Madeleine PAQUEREAU (1), Jean-Pierre DAUGAS (2), Didier MIALLIER (3), Jean FAIN (3), Serge SANZELLE (3)

RESUME

Sept datations d'événements volcaniques du Massif Central français obtenues par thermoluminescence (T.L.) des inclusions de quartz sont présentées. Les formations datées ont été choisies en fonction de leur intérêt en Géologie du Quaternaire et Préhistoire. Les résultats sont commentés par comparaison avec les données floristiques (spectres polliniques) et faunistiques des dépôts sous et sus-jacents et en référence au contexte archéologique.

Les âges obtenus sont généralement en bon accord avec les autres approches mais les précautions à prendre pour la mise en oeuvre de la méthode sont soulignées : elles résultent de la diversité de comportement des quartz selon les échantillons et de l'histoire de l'encaissant (variations d'humidité, lessivage...). La précision est de l'ordre de 12 %.

Cette méthode est parfois la seule utilisable (« Maars ») et permet généralement de couvrir la période comprise entre 1 000 et 200 000 ans avant le présent.

Mots-clés : Thermoluminescence, Volcanisme, Maars, Quaternaire, Massif Central français, Chronostratigraphie, Palynologie, Paléontologie, Préhistoire.

ABSTRACT

CONTRIBUTION TO QUATERNARY VOLCANISM THERMOLUMINESCENCE DATING BY MEANS OF THE QUARTZ INCLUSION METHOD. COMPARISON WITH OTHER APPROACHES : CHRONOSTRATIGRAPHICAL AND PALEOENVIRONMENTAL IMPLICATIONS.

Seven datings of volcanic events from the french Massif Central obtained by the quartz inclusion technique of thermoluminescence are presented. The units dated were chosen with respect to their interest for Quaternary Geology and Prehistory. The results are discussed by comparison with botanical data (pollen spectra) and faunal data of the over-and underlying layers and with reference to the archaeological context.

(1) Institut du Quaternaire — L.A. 133 C.N.R.S., Université de Bordeaux I, 33405 — Talence Cedex (France).

(2) Direction Régionale des Antiquités Préhistoriques d'Auvergne, Hôtel de Chazerat, 4 rue Pascal, 63000 — Clermont-Ferrand (France), et L.A. 133 C.N.R.S. — Institut du Quaternaire.

(3) Laboratoire de Physique Corpusculaire, Equipe A.I.L. — T.L., Université de Clermont II — IN2 P3, B.P. 45, 63170 — Aubière (France)

The ages obtained are generally in close agreement with the other methods, but the precautions which must be taken in proceeding with the technique are stressed. These result from the variability of the characteristics of the quartz; depending upon its geological origin and from the nature of the surrounding medium (variation in humidity, leaching, etc...). Precision is around 12 %.

Two points are worth stressing :

- this method can provide dates greater than 100 000 B.P.,
- it is, currently, the only method which can be used to date Maars older than 35 000 B.P..

Key-words : Thermoluminescence, Volcanism, Maars, Quaternary, french Massif Central, Chronostratigraphy, Pollen analysis, Paleontology, Prehistory.

Dans la dernière décennie, la méthode de datation par T.L. a trouvé un vaste champ d'application dans le domaine du volcanisme, en particulier dans l'intervalle de temps non couvert par les méthodes usuelles : Radiocarbone, Potassium-Argon, traces de fission. La première application au Massif Central français (Wintle, 1973) avait pour objet la datation de l'événement magnétique de Laschamp (Chaîne des Puys). Ce travail a été poursuivi par plusieurs chercheurs, soit en T.L., soit par d'autres méthodes (Barbetti et Flude, 1979; Gillot et Labeyrie, 1978; Gillot *et al.*, 1979; Gillot, Valladas et Reys, 1978; Guérin *et al.*, 1979; Guérin et Valladas, 1980; Hall et York, 1978 a et b; Huxtable, Aitken et Bonhommet, 1978; Valladas et Gillot, 1978; Guérin, 1983). Dans le même temps, des âges récents (inf. à 10 000 ans) ont été calculés par la méthode du déséquilibre Thorium 230—Uranium 238 (Moran *et al.*, 1978; Condomines, 1978, 1982) et par Potassium—Argon (Gillot *in* Guérin, 1983).

Depuis 1980, notre équipe s'intéresse au volcanisme du Massif Central avec les lignes de conduite suivantes :

- Les événements volcaniques à dater sont choisis en fonction de leur intérêt en Géologie du Quaternaire et Préhistoire (Miallier *et al.*, 1984),
- La méthode des « inclusions de quartz » (Fleming, 1970) est utilisée (sauf mention contraire) avec l'objectif d'une part de tester et d'étendre sa validité et ses limites dans le domaine du volcanisme, d'autre part de la comparer aux autres techniques de datation absolue (*Cf. supra*).

1. MISE EN OEUVRE DE LA T.L

Nous rappelons que la méthode de datation par thermoluminescence consiste à mesurer, sous forme de luminescence provoquée par une élévation de température, la dose d'irradiation naturelle reçue par le minéral depuis son dernier chauffage, celui-ci ayant joué le rôle de remise à zéro initiale. Cette méthode a déjà été décrite en détail dans cette revue (Valladas, 1979) (Fig. 1).

1. Détermination de la paléodose :

Les grains de quartz utilisés pour cette série de datations ont des origines diverses :

- ils peuvent être extraits d'un sédiment cuit par une coulée (coulée du Tartaret à Neschers, de Royat, de l'avenue du Mont-Dore à Beaumont), d'un morceau de granite pris immédiatement sous la coulée (Puy de Gravenoire) ou en inclusion dans la coulée (La Denise).
- ils peuvent faire partie de l'héritage xénolithique d'une brèche de maar (Butte de Clermont, Saint-Hippolyte).

Dans ces différents contextes, des grains de quartz calibrés ont été séparés à l'issue d'une combinaison des traitements usuels : broyage doux, acides, séparation magnétique, liqueur dense, flottation différentielle (Gagny et Nicolas, 1966). Les mesures de T.L. ont été effectuées avec l'appareillage en service au laboratoire de Physique corpusculaire de l'Université de Clermont II (IN2P3) dont la réalisation a bénéficié du concours de G. Valladas (plans du lecteur) et de l'aide technique du S.A.D.V.I. (C.R.N. — Strasbourg) pour la réalisation mécanique. Il présente les caractéristiques suivantes :

- taux de chauffage : 1,4 °C/sec ou 5 °C/sec,
- atmosphère : Azote,
- filtres : BG 12 Leitz (400 nm),
- photomultiplicateur à cathode bialcaline (EMI 9635 QA),
- irradiations artificielles avec un irradiateur gamma construit selon les plans de Valladas (1979) et contenant 12 Curies de Césium 137 (débit de dose : 155 Gy/heure).

2. Dose annuelle d'irradiation naturelle

La dose d'irradiation annuelle est calculée à partir de trois mesures :

- dosimétrie gamma *in situ* avec des dosimètres T.L. utilisant le sulfate de Calcium (CaSO₄:Dy) fabriqué par le C.E.A. de Fontenay-aux Roses,
- dosage du Potassium par photométrie de flamme ou spectroscopie d'absorption atomique,

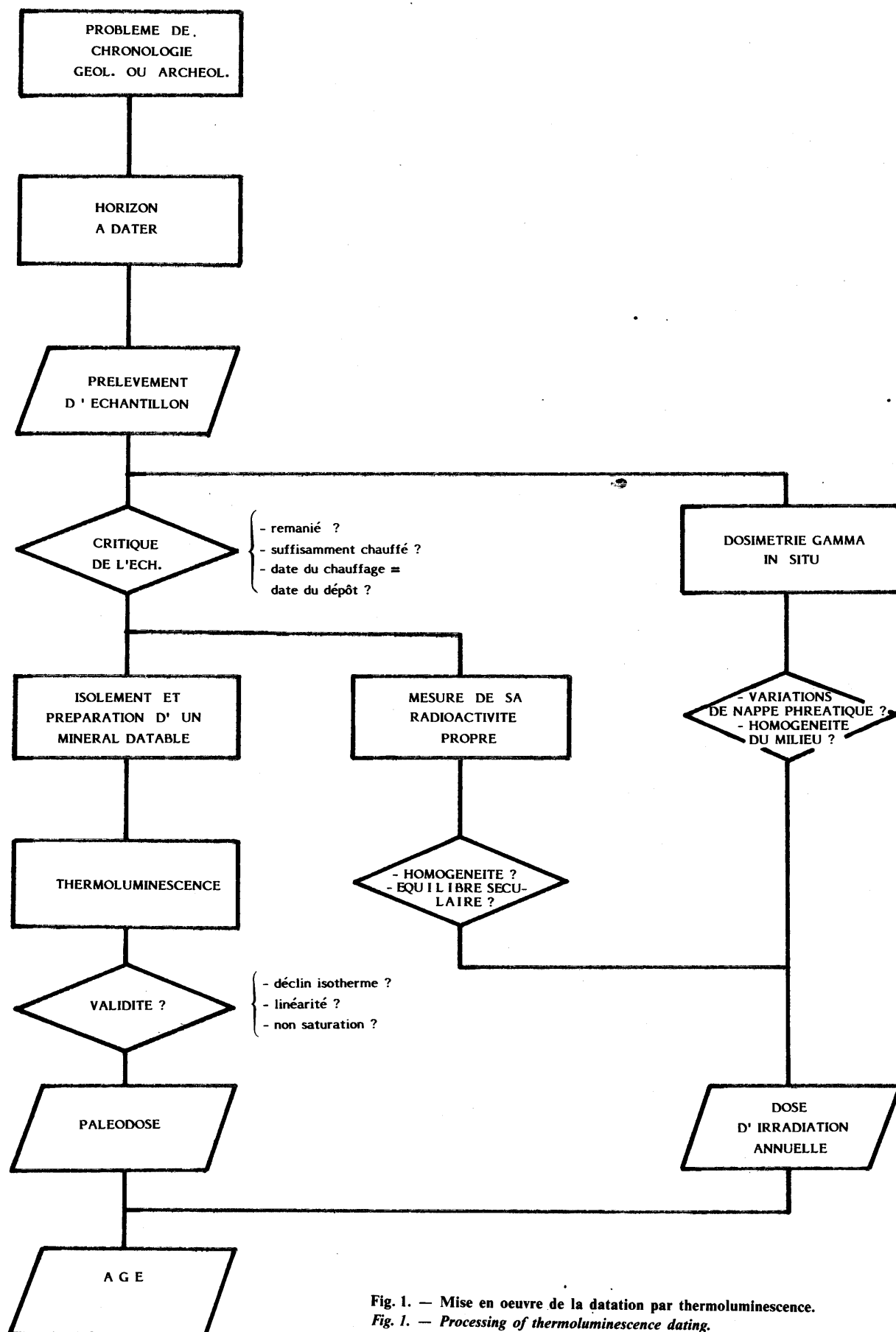


Fig. 1. — Mise en oeuvre de la datation par thermoluminescence.

Fig. 1. — Processing of thermoluminescence dating.

effectué au laboratoire de Géologie de l'Université de Clermont II (A. Bouchard, F. Cantagrel, S. Courture),

— évaluation des contributions des familles U et Th à partir du comptage alpha, au moyen de Détecteurs Solides de Traces suivant une méthode mise au point dans notre laboratoire (Sanzelle *et al.*, 1982; Miallier, 1982).

3. Observations expérimentales

3.1 Thermoluminescence

Les doses d'irradiation naturelle rencontrées correspondent à des âges compris entre 25 000 et 420 000 ans et sont de un à deux ordres de grandeur supérieures à celles reçues par les céramiques habituellement datées par T.L.. Une conséquence est que le comportement T.L. du quartz est assez différent de ce qui est généralement observé.

Le test du « plateau » (Aitken, 1963) qui consiste à vérifier si, dans un large domaine de températures, la T.L. artificielle et la T.L. naturelle sont proportionnelles, n'a été réussi simplement que dans un seul cas (La Denise). Dans les autres cas, il a fallu, suivant l'exemple de Valladas (1978), préchauffer les échantillons à température élevée afin de supprimer certaines composantes du signal T.L. qui suivent à haute dose des lois complexes. Il est admis que ce test n'est pas suffisant pour prouver qu'il n'y a pas eu de perte d'information par les minéraux mais, si les effets de déclin isotherme peuvent être quelquefois prévus à partir d'expériences de laboratoire, il n'en est pas de même pour d'autres causes de « fading » comme l'effet tunnel et seule la concordance entre des âges T.L. et des âges obtenus par d'autres méthodes peut permettre de donner une réponse à ce problème. En anticipant sur la suite, nous pouvons dire que le quartz peut conserver des doses élevées (supérieures à 1 KGy) emmagasinées pendant des périodes très longues (supérieures à 100 000 ans).

La réponse T.L. du quartz à haute dose est très variable d'un échantillon à l'autre et d'un pic de thermoluminescence à l'autre dans un même échantillon. Nous avons trouvé, pour des doses de l'ordre de 1 KGy, trois types de réponse; linéaire, surlinéaire ou tendant à la saturation. Cette variabilité qui affecte la T.L. du quartz se retrouve dans le nombre et la position des pics de thermoluminescence, aussi, les monographies traitant d'un quartz d'origine déterminée sont-elles peu utilisables en général.

Ce phénomène peut être mis à profit, à l'exemple de Aloisi (1979), pour étudier les sources d'alimentation des quartz détritiques. Nous avons pu constater que les grains de quartz provenant de l'horizon

scellé par la coulée du Tartaret à Neschers ont tous à peu près (1) le même signal T.L. tandis qu'on trouve plusieurs familles de spectres T.L. dans les quartz du maar de Saint-Hippolyte. Dans ce dernier cas, nous avons développé une méthode de sélection des grains de quartz en fonction de leur plus ou moins bonne aptitude à la datation : sur un nombre élevé de grains de quartz lus individuellement, nous en avons conservé 50 % présentant de « bonnes » caractéristiques T.L. (Miallier *et al.*, 1985). La bonne convergence des résultats obtenus pour chaque grain est un indice de validité de cette méthode qui a par ailleurs donné le même âge que la technique additive usuelle.

Enfin, une dispersion importante des mesures T.L. est souvent observée : elle semble liée à la très grande variation individuelle des grains de quartz à l'intérieur d'un même aliquot et oblige généralement à multiplier les mesures pour arriver statistiquement à une précision acceptable.

3.2. Dose d'irradiation annuelle

Dans le cas où les grains de quartz proviennent d'un milieu perméable, on doit craindre un lessivage passé de certains radioéléments solubles (Potassium, Uranium, Radium), une modification du milieu par départ ou apport d'éléments fins, carbonatations... et des variations de teneur en eau. Ce problème a pu être en partie exploré avec des arguments géochimiques et un examen micromorphologique sur lames minces de grand format (2), mais il est difficilement appréciable du point de vue quantitatif, d'autant plus que les conditions de gisement actuelles (front de taille, carrière, abrupt naturel...) contribuent à modifier la circulation des eaux vadoses. Ceci peut être à la source d'erreurs systématiques. L'attention que nous avons portée à ces problèmes nous a conduits d'une part à renforcer le dialogue physiciens-géologues, d'autre part à nous intéresser de près à la dosimétrie de site en milieu complexe en calculant le spectre gamma naturel et la réponse du dosimètre CaSO₄:Dy dans les cas de figure extrêmes (Fain *et al.*, 1984).

II. RESULTATS

Ils seront présentés par ordre chronologique, du plus ancien au plus récent.

(1) Etude théorique de la cinétique T.L. des quartz actuellement réalisée par informatique au Brookhaven National Laboratory, Upton, New-York, par Paul Lévy qui a déjà réalisé une classification « fine » des grains pris individuellement.

(2) Examen par M.A. Courty, L.A. 133 C.N.R.S., Institut du Quaternaire, Université de Bordeaux I. Lames minces réalisées à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon.

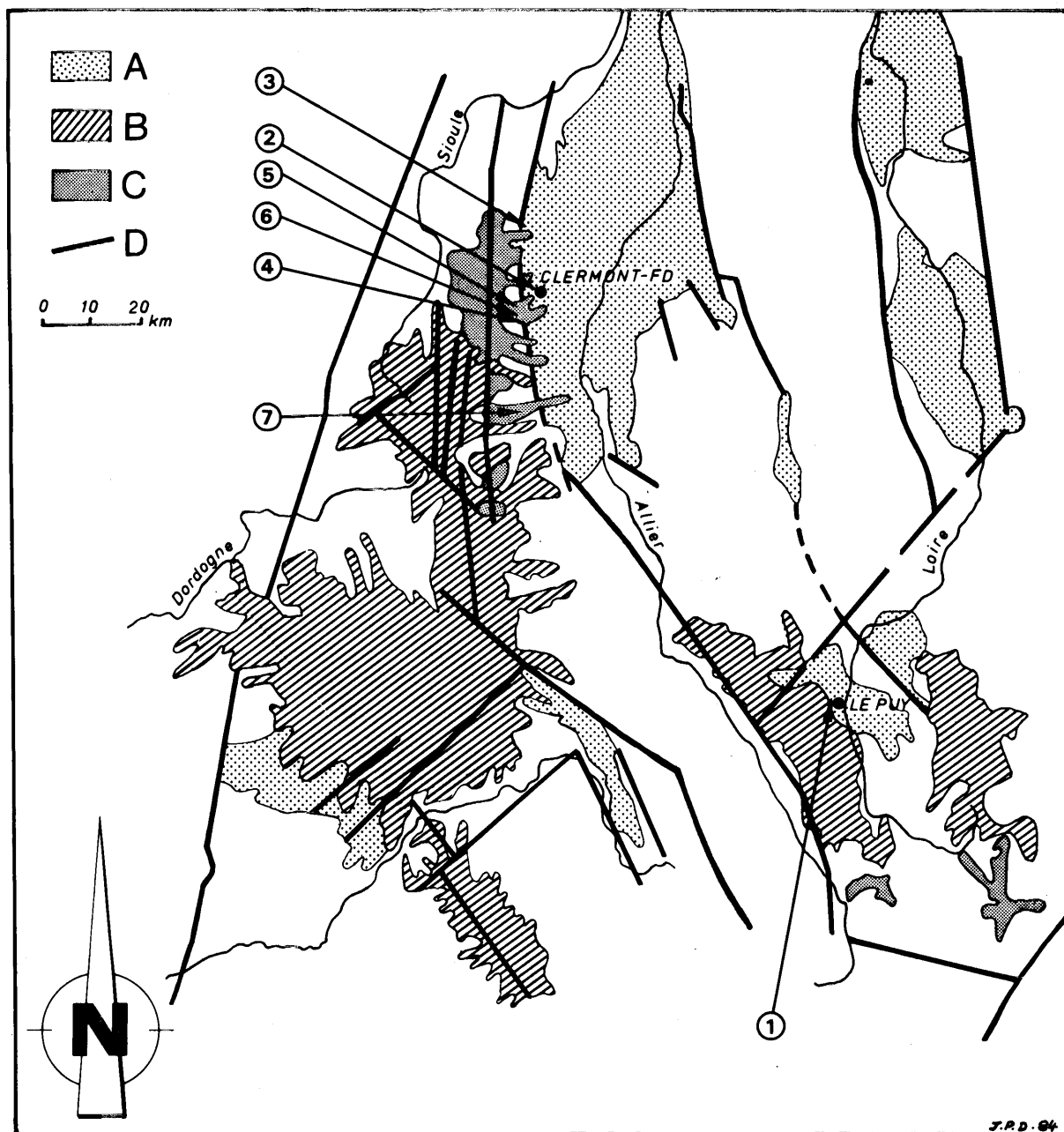


Fig. 2 — Localisation des sites étudiés.

1 : Volcan de la Denise. 2 : Maar de Clermont. 3 : Maar de Saint-Hippolyte. 4 : Coulée de l'avenue du Mont-Dore à Beaumont. 5 : Coulée de Royat. 6 : Puy de Gravenoire. 7 : Coulée du Tartaret à Neschers.

Fig. 2. — Location of studied sites.

1 : La Denise volcano. 2 : Maar of Clermont. 3 : Maar of Saint-Hippolyte. 4 : Lava flow at Avenue du Mont-Dore in Beaumont. 5 : Royat lava flow. 6 : Gravenoire volcano. 7 : Lava flow of the Tartaret volcano in Neschers.

1. Le volcan de la Denise (Le Puy-en-Velay, Haute-Loire)

Cet édifice complexe, situé à trois kilomètres au Nord-Ouest du Puy (Fig. 2, n° 1), est connu par les faunes qu'il a livrées en plusieurs endroits (« dépôts de pente » de la Malouteyre, « fentes » du Collet) mais également par la polémique qui a longtemps entouré l'attribution chronologique des « hommes

de la Denise » (Barthélémy, 1844; Boule, 1892; Bout, 1947; Heintz et Oakley, 1969).

1.1. Datation

Une interprétation du complexe pyroclastique a été donnée récemment (Gourgaud *et al.*, 1979). Elle se résume comme suit, du plus ancien au plus récent (Fig. 3) :

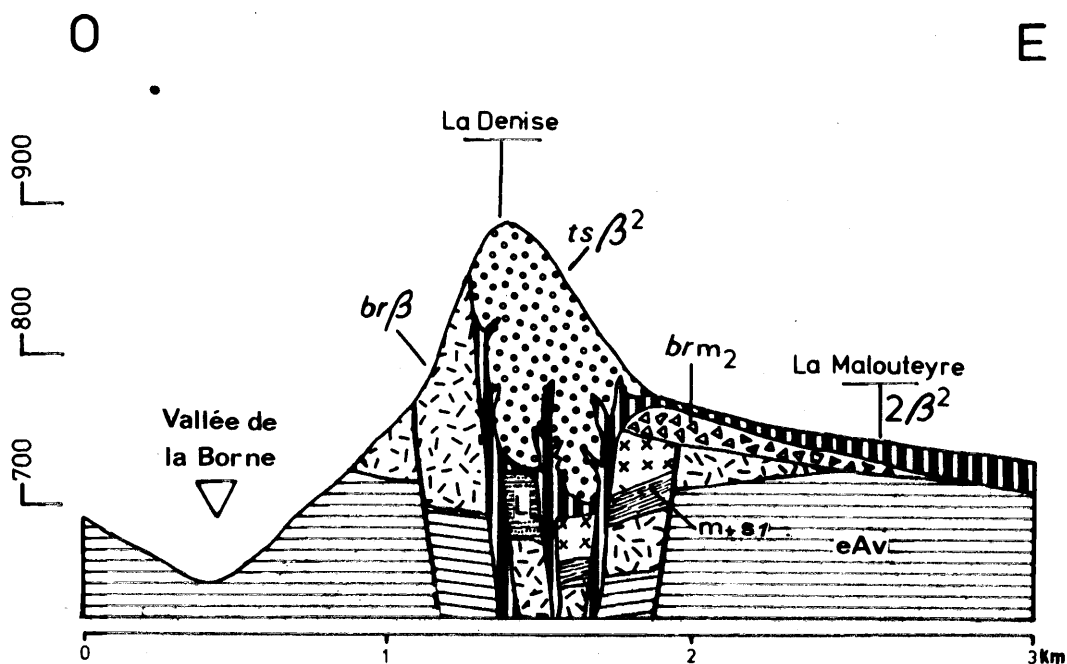


Fig. 3. — Croquis stratigraphique synthétique des différentes unités constituant le complexe volcano-sédimentaire de La Denise (légende dans le texte).

Fig. 3. — The volcano-sedimentary complex of La Denise : synthetic stratigraphy of the different units (see legend in text).

- brèches à palagonite ($br\beta$), structure de type diatrème,
- brèches chaotiques, maar « ancien »,
- scories stromboliennes anciennes synchrones des brèches chaotiques ($m+S1$),
- remplissage lacustre dans le cratère du maar « ancien » (L),
- tufs de maars « récents » (La Malouteyre) (brm_2),
- scories stromboliennes terminales ($ts\beta^2$).

C'est l'épisode responsable de la mise en place des scories stromboliennes terminales, conférant à la Denise son aspect actuel et auquel est généralement rapportée l'émission de la coulée de La Malouteyre ($2B2$), qui a retenu notre attention. L'échantillon daté est un fragment de granite inclus dans une masse de basalte, prélevé dans la zone ouest du front de taille de l'exploitation en carrière, là où les scories stromboliennes sont au contact de la brèche à palagonite par l'intermédiaire du bord du cratère de maar le plus récent. Cette situation correspond sensiblement à celle du cliché de Boule (1892, pl. VII, p. 216) (coordonnées Lambert Y = 307,3, X = 719,40, feuille à 1/25 000 Le Puy 7-8).

L'âge obtenu est le suivant :

Cler TL 41 : $418\,000 \pm 65\,000$ avant 1980 (3).

Cet âge semble être le plus ancien connu pour du quartz daté par T.L. et il est à considérer comme une limite basse étant donnée l'absence actuelle de certitude quant à la stabilité de la T.L. du quartz sur d'aussi longues périodes.

1.2. Discussion

Les données naturalistes (faunes et flores fossiles) s'accorderaient en effet sur une plus grande ancienneté.

Les tufs de maar « récents » (La Malouteyre) auraient livré à leur base et en trois endroits au moins (Bout, 1960), une faune généralement rapportée au « Villafranchien supérieur », donc plus ou moins contemporaine de celle de Sinzelles et en tout cas nettement antérieure à celle de Soleilhac, soit une fourchette allant de 1,5 à 1,0 M.A. environ. Toutefois, la position réelle des faunes par rapport aux tufs de maar et à la coulée de La Malouteyre n'a jamais été précisée : elles pourraient très bien appartenir à des formations de versant postérieures aux tephra...

Les formations lacustres piégées dans un cratère de maar et visibles actuellement dans la partie ouest de la carrière sont réputées antérieures à l'épisode phréatomagmatique le plus récent (*Cf supra*) mais pourraient tout aussi bien lui être postérieures. Elles livrent en effet dans leur partie sommitale un cortège pollinique AP (38 à 40 %), dominé par le Pin et le Sapin et quelques Epicéas. Quelques feuillus sont présents (Noisetier, Saule, Bouleau et sporadique-

(3) Convention de présentation des dates (Miallier, Sanzelle, Fain, Evén, 1983).

ment Chêne, Tilleul, Hêtre). Les Graminées et les Cypéracées sont dominantes parmi les Herbacées. On y rencontre quelques Hygrophiles. Les Héliophiles assez nombreuses sont des Composées, des Polygonacées, des Urticacées et des Crucifères. Cette flore (sans espèce relique tertiaire) évoque une phase terminale d'interglaciaire. Elle rappelle en particulier celle du sommet de l'ensemble D du site de Soleihac, attribué à la seconde partie du Günz-Mindel, vers 1,0 M.A. (4).

Trois datations K/Ar ont été réalisées sur deux échantillons de basaltes de la Denise (Cantagrel, *in litteris*) (5). L'un, prélevé dans la partie ouest de la carrière dans une masse de basalte associée aux scories « terminales » et postérieure au dépôt lacustre dont le contenu palynologique vient d'être décrit, est daté de $1,11 \pm 0,07$ M.A.; l'autre provient de la coulée de La Malouteyre et a fourni deux âges : $1,07 \pm 0,07$ M.A. et $1,14 \pm 0,07$ M.A..

Ces résultats doivent être comparés aux données radiométriques et paléomagnétiques antérieures obtenues sur la coulée de La Malouteyre. Pour Roche (1953) cette coulée serait de paléomagnétisme inverse; Bellon (1971), lui attribue deux âges de 0,67 et 0,69 M.A. et la considère également de paléomagnétisme inverse; Couthures (1982) propose un âge de 3,56 M.A. et un paléomagnétisme positif... La coulée de La Malouteyre a donc fait l'objet d'études géochronologiques et paléomagnétiques dont les résultats sont contradictoires. Il convient cependant d'écarter la date K/Ar de 3,56 M.A. : « ce résultat ne comprenant qu'une mesure, doit être tenu en doute... » (Couthures, 1982). L'hypothèse d'une polarité positive (Couthures, 1982), compte tenu des indications données par la faune de La Malouteyre et ceci quelle que soit sa position par rapport à la coulée, devrait être rapportée à l'événement positif de Jaramillo (0,97 à 0,90 M.A.). Cependant cette possibilité reste, de peu il est vrai, en dehors des intervalles de confiance des nouvelles dates K/Ar. Par contre l'hypothèse d'une polarité négative (Roche, 1953) s'accorde avec ces dernières et situerait l'épanchement de la coulée vers la fin de l'époque de Matuyama, avant l'épisode positif de Jaramillo; mais elle s'accorderait également avec les dates de Bellon (*op. cit.*) situant alors l'épanchement à l'extrême fin de l'époque de Matuyama vers 0,7 M.A. : les données palynologiques ne permettent pas de trancher.

On peut tout de même s'interroger sur une telle dispersion des dates absolues mises en oeuvre par la

même méthode (K/Ar) ainsi que sur l'hétérogénéité des résultats paléomagnétiques : elles traduisent peut-être une certaine complexité des tephra (géochimique et géométrique) mais posent clairement, en amont des difficultés de mise en oeuvre de la datation (Gourinard, 1975), le problème de la pertinence de l'échantillonnage...

Dans l'état actuel des travaux, l'âge de la dernière manifestation éruptive de cet édifice — scories stromboliennes terminales et coulée(s) associée(s) — reste donc à confirmer.

2. LE PHREATOMAGMATISME DE GRANDE LIMAGNE

Les grains de quartz étudiés en T.L. ont été extraits des pyroclastites. Leur origine est à rechercher dans le socle ramoné par les explosions et probablement aussi dans les sédiments sous-jacents aux projections des maars. Les analyses des minéraux lourds (Pelletier, 1974) ont en effet montré des analogies entre les différents cortèges.

La question primordiale était de savoir si la température atteinte par les quartz lors de l'éruption avait été suffisante pour une « remise à zéro » au sens de la T.L. (soit environ 300 °C durant plusieurs jours, 400 °C pendant plusieurs heures, etc). Les quartz sont emballés dans des lapillis basaltiques et très nombreux en inclusions dans les bombes en choux-fleur : une partie d'entre eux a donc été en contact avec la lave en fusion. L'analyse des courbes de T.L. a confirmé cette hypothèse.

2.1. Le maar de Clermont

Culminant à 410 m NGF, la Butte de Clermont est constituée dans sa partie sommitale de projections du maar basaltique de Jaude-Salins (Pelletier, 1969; Baudry et Camus, 1970) (Fig. 2, n° 2 et Fig. 4). Les nouvelles coupes observées lors des travaux d'urbanisme (Cours Sablon, Boulevard Clémenceau, Hôtel de Chazerat) (coordonnées Lambert X = 658,52, Y = 86,28, feuille à 1/25 000 Clermont-Ferrand 7-8) (Miallier, 1982; Miallier *et al.*, 1982; Raynal *et al.*, 1982) ont permis d'étudier, de bas en haut, la succession stratigraphique suivante (Fig. 5) :

- alluvions anciennes de la Tiretaine (Fy),
- colluvions,
- dépôts palustres,
- pyroclastites (brm).

2.1.1. Cours Sablon

Alluvions anciennes de la Tiretaine

Riches en galets de socle cristallin, elles comportent vers leur sommet des lentilles sablo-limoneuses

(4) Inédit, M.M. Paquereau *in* J.P. Raynal (Thèse).

(5) Laboratoire de Chronologie des Terrains Cristallins et Volcaniques — L.A. 10 C.N.R.S., Université de Clermont II, 63038 Clermont-Ferrand Cedex (France). Prélèvements par J.M. Cantagrel, J. Mergoil et D. Miallier en juillet 1983.

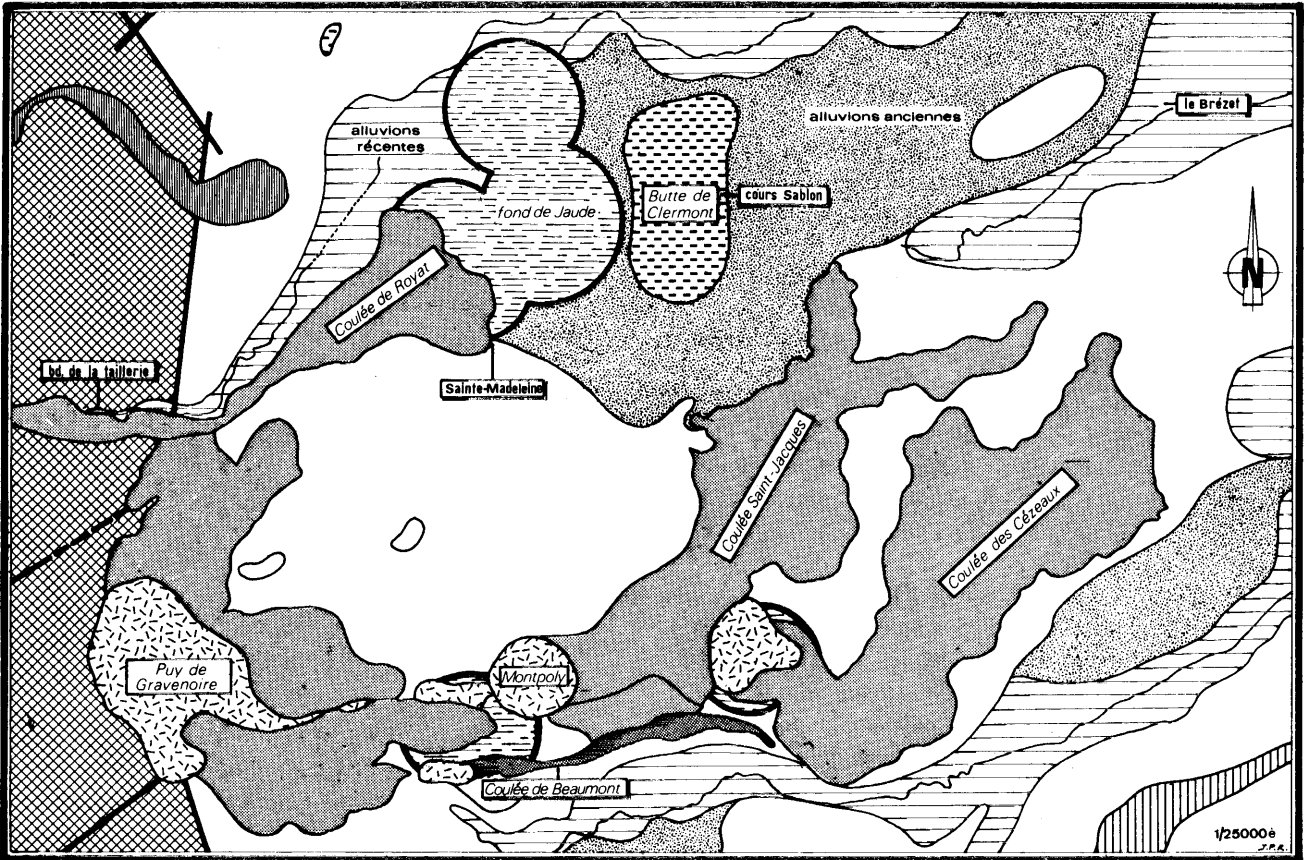


Fig. 4. — Localisation des formations étudiées dans le contexte géologique de la région clermontoise (d'après Camus *et al.*, 1983).
Fig. 4. — Location of sampled units in the geological context of the Clermont area (after Camus *et al.*, 1983).

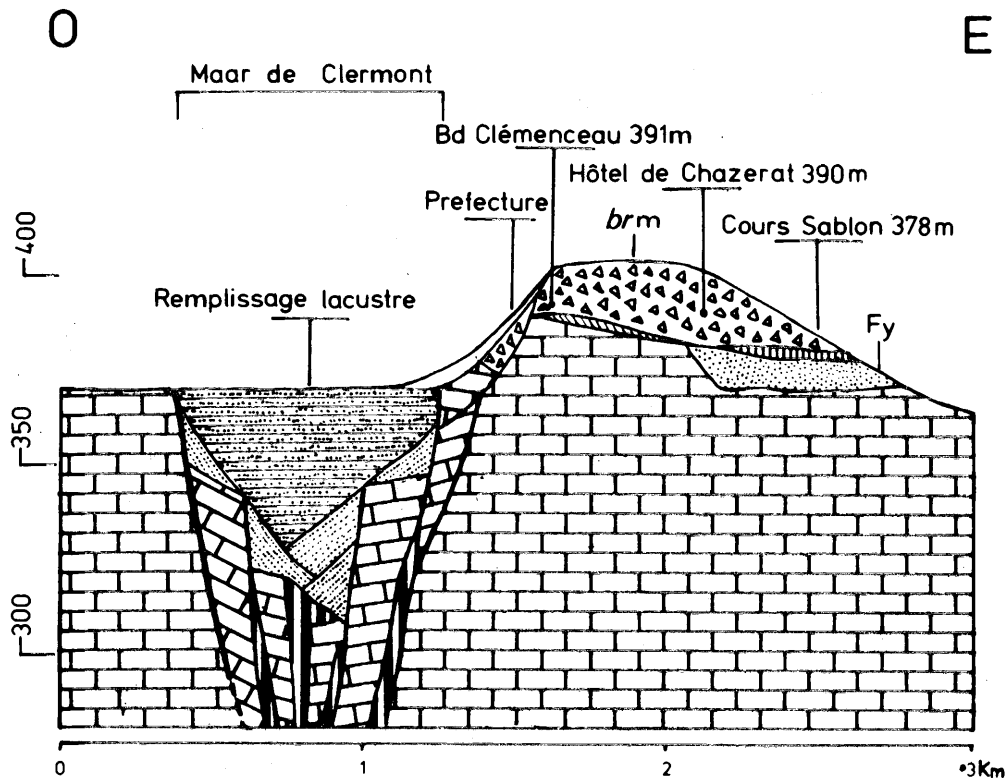


Fig. 5. — Croquis stratigraphique synthétique montrant la disposition des différentes unités du complexe volcano-sédimentaire du maar de Clermont (légende dans le texte).
Fig. 5. — Maar of Clermont. Synthetic stratigraphic schema of the differents units (see legend in texte).

pollinifères. Au cours Sablon, les éléments arbustifs (12 à 15 % du total avec Pin — 8 à 9 % — Sapin, Epicéa, Bouleau, Noisetier et Saule) sont dominés par une flore herbacée qui évoque une phase très ouverte de prairies avec bosquets de conifères et rares feuillus sous climat nettement froid et sec (phase Sablon 1). Les éléments de stratigraphie régionale et locale s'accordent pour placer ces alluvions anciennes de la Tiretaine dans l'avant-dernier glaciaire (Riss), vraisemblablement vers sa fin.

Dépôts palustres intermédiaires

Ils sont localisés dans des dépressions du sommet des alluvions. Riches en matière organique et de texture fine, ils révèlent un boisement élevé (AP 58 à 60 %) avec dominance du Sapin (20 %), du Pin sylvestre (15 %) et de l'Epicéa (8 %). Les feuillus (Bouleau, 6 %; Noisetier, 3 %; Saule, 3 %; Aulne, 2 %; Chêne, 1 %) accompagnent une flore herbacée à nombreuses Graminées (18 %), Cypéracées (7 %) et Ombellifères (2 %). Les Composées représentent seulement 6 % et les autres Héliophiles 4 % en tout. On rencontre quelques Ericales (3 %). Ces dépôts traduisent une ambiance nettement biotique, fraîche et humide, caractéristique de la fin d'une amélioration climatique d'importance (phase Sablon 2). La matière organique contenue dans ce sédiment a autorisé un datage ^{14}C qui confirme son ancienneté : Ly 2851 : $\geq 32\,000$ ans B.P. (6).

Pyroclastites

Le premier niveau est très riche en cendres fines et en restes végétaux non carbonisés, hachés et orientés Ouest-Est. L'analyse palynologique révèle un cortège comparable à celui des dépôts palustres intermédiaires auquel sont incorporés des éléments archaïques remaniés du substrat : Taxodiacees, *Carya*, *Pterocarya*.

Les premiers lits de pyroclastites sus-jacents au niveau fin initial constituent la base du « tuff-ring » (378 m NGF) et ont paru susceptibles d'être datés par T.L. Le résultat suivant a été obtenu :

Cler TL 23 : $157\,000 \pm 22\,000$ avant 1980.

2.1.2. Boulevard Clémenceau

Les pyroclastites fossilisent ici un mince niveau de colluvions plaquées sur les marno-calcaires du substrat. Les résultats de l'analyse palynologique de ces colluvions évoquent l'avant-dernier glaciaire (Riss), avec des conditions toutefois moins rudes et

plus humides (phase Clémenceau) que celles décelées au cours Sablon au sommet des alluvions anciennes. La mise en place de ces colluvions peut donc être pénécontemporaine de celle des alluvions anciennes de la Tiretaine, ou légèrement postérieure.

Il n'a pas été effectué de mesure de T.L. sur ce site.

2.1.3. Hôtel de Chazerat

Dans les caves de cet édifice situé au n° 4 de la rue Pascal subsiste une très belle coupe qui culmine à 389,9 m NGF, sommet actuel du « tuff-ring ». Une mesure de T.L. à cet emplacement donne le résultat suivant :

Cler TL 27 : $156\,000 \pm 22\,000$ avant 1980.

2.1.4. Discussion

La mise en oeuvre de techniques croisées apporte donc de nouvelles informations quant à la nature et à l'âge de la Butte de Clermont.

Le caractère volcanique de la formation, encore récemment contesté (Bout, 1978), trouve dans l'analyse du comportement T.L. des grains de quartz une confirmation supplémentaire.

Rappelons la moyenne des mesures T.L. :

Cler TL 23-27 : $156\,000 \pm 17\,000$ avant 1980.

L'éruption phréatomagmatique intervient après le dépôt des alluvions et des colluvions rapportées à l'avant-dernier glaciaire (Riss), mais vraisemblablement pendant celui des sédiments palustres que la palynologie situe vers la fin d'une amélioration climatique notable.

Il convient certes de considérer la date absolue avec son incertitude, mais le résultat reste cependant incompatible avec une attribution à la fin du dernier interglaciaire (Riss-Würm) aujourd'hui bien corrélé avec le sous-stade isotopique 5e du domaine océanique (Woillard, 1978; Laville *et al.*, 1983; Laville, Raynal, Texier, 1984; Turon, 1984).

De récents travaux (Texier, 1982) ont insisté sur le caractère majeur des coupures décelées par l'étude des formations superficielles à l'intérieur de l'avant-dernier glaciaire, appelées « interstades rissiens » mais comparables par leurs effets morphopédologiques au dernier interglaciaire. Au sein de chacun des « stades rissiens », plusieurs améliorations de faible amplitude ont été reconnues (Laville, 1973). La comparaison de ces résultats avec ceux du domaine océanique permet de corréler le « Riss III » du Sud-Ouest français avec le stade 6 de la courbe isotopique (Texier *et al.*, 1983). Les analyses détaillées des carottes marines (Hays *et al.*, 1976) et le calcul des variations de l'insolation mensuelle à partir des paramètres orbitaux terrestres (Berger,

(6) Datation par J. Evin, Centre d'Analyses Isotopiques de l'Université de Lyon I, 69621 — Villeurbanne (France).

1978) s'accordent à reconnaître deux coupures au sein du stade isotopique 6, la première vers 175 000 B.P., la seconde vers 150 000 B.P.

Nos recherches confirment l'existence d'une coupure notable au sein de l'avant-dernier glaciaire, plus précisément dans le « Riss III », entre 150 000 et 160 000 B.P., responsable de la sédimentation des dépôts palustres du Cours Sablon et pendant laquelle se produit l'éruption phréatomagmatique du maar de Jaude conduisant à l'édification de la Butte de Clermont. Dans la dépression cratérique s'installe alors un complexe lacustre qui perdurera jusqu'au Tardi-glaciaire et dont la durée de vie approche donc 150 000 ans, enregistreur privilégié des modifications climatiques et des phénomènes éruptifs locaux, dont l'étude détaillée est en cours.

2.2. Le maar de Saint-Hippolyte

Des dépôts de maar situés au lieu-dit le Béchet et en bordure du C.D. 227 de Riom à Saint-Hippolyte ont été signalés pour la première fois par Béalon (1969), confirmés par Baudry et Camus (1970) et cartographiés par Thuizat (1973) (coordonnées Lambert X = 656,82, Y = 101,74, feuille à 1/25 000 Aigueperse 7-8; altitude 460 m) (Fig. 2, n° 3). Cette interprétation est confortée par la proximité d'une dépression circulaire en partie comblée par des dépôts lacustres fossilifères connus de longue date (Bout, 1958; Pelletier, 1963, 1966) (Fig. 6). Cette hypothèse est contestée par Bout (1978) qui interprète la dépression comme un petit bassin subsident en bordure de Limagne.

Après la découverte de vestiges lithiques préhistoriques en 1980 (7), une étude pluridisciplinaire des différentes formations a été entreprise, étayée par une série de sondages, la révision des faunes et la datation T.L. des pyroclastites.

2.2.1. Les formations lacustres

Douze ensembles sédimentaires ont été identifiés dans le delta lacustre de la carrière nord sur une puissance de quatorze mètres. Ils reposent sur des « sables grossiers » aujourd'hui non visibles (Pelletier, 1963). L'interprétation pluridisciplinaire des données permet la reconstitution dynamique suivante :

Dans la dépression cratérique formée par l'explosion du maar, s'installe rapidement un paléo-lac alimenté au Nord-Ouest par un paléo-cours du Sardon descendant du plateau des Dômes, mais également par des venues hydrothermales sur le trajet de failles de direction NE — SW, appartenant au train de la grande faille bordière de Limagne.

Un puissant complexe détritique littoral commence à s'édifier pendant la dernière phase tempérée du Würm ancien (AP 39 à 33 %) et envahit la zone nord du lac alors que les populations moustériennes en fréquentent les rives : quelques objets lithiques et restes fauniques (Cheval, grand Bovidé, Cervidé de grande taille, Mammouth) en témoignent.

(7) Découverte par J.P. Raynal et J.P. Dugas *in* Bonifay (1980, p.355).

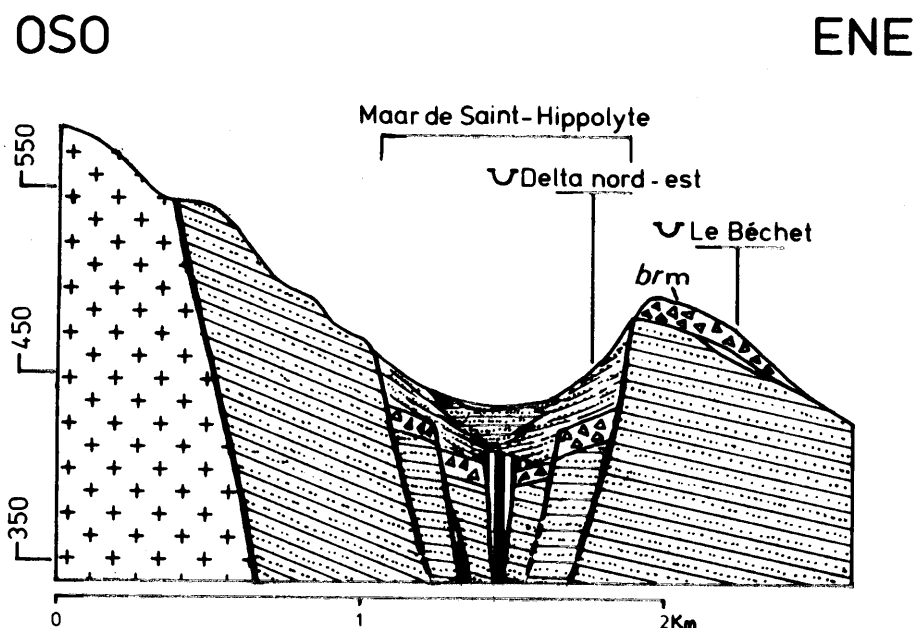


Fig. 6. — Croquis stratigraphique synthétique montrant la disposition des différentes unités du complexe volcano-sédimentaire du maar de Saint-Hippolyte (légende dans le texte).

Fig. 6. — Maar of Saint-Hippolyte. Synthetic stratigraphic schema of the different units (see legend in text).

Le comblement de la zone nord se poursuit au fur et à mesure de la remontée du niveau lacustre, pendant la transition aux conditions pléniglaciaires (AP s'abaisse de 30 à 15 %), puis avec l'instauration des conditions pléniglaciaires du Würm ancien (AP de 15 à 10 %, Renne, Marmotte, Mammouth). Il s'achève avec l'amorce d'une amélioration climatique (AP de 12 à 19 %). Un déversoir se crée alors dans la partie sud-est et l'érosion régressive amène peu à peu la vidange du lac dont la durée de vie peut être estimée entre 30 000 et 50 000 ans environ.

2.2.2. *Les colluvions sous-jacentes aux pyroclastites du Béchet*

La brèche de maar repose ici sur des colluvions qui ont été en partie érodées lors de la mise en place du « tuff-ring ». Elles subsistent en minces placages locaux sous les projections. Elles auraient livré de très rares fragments de bois carbonisés (Camus, 1975). Leur dépôt indique des conditions de dégradation climatique, aptes à provoquer une déstabilisation des versants, donc une ambiance climatique fraîche et humide.

L'analyse palynologique révèle l'existence d'un couvert végétal encore assez peu dégradé (AP 41 %) dans lequel les conifères sont les éléments forestiers dominants : Pin sylvestre (20 %), Sapin (3 %), accompagnés du Noisetier (11 %), du Bouleau, du Saule et de l'Aulne. On note la présence sporadique du Chêne. Les Herbacées sont essentiellement des Héliophiles (Graminées et Composées dominantes avec des Urticacées et Polygonacées peu nombreuses). Les Cypéracées sont assez abondantes et quelques Hydrophiles (Typhacées) sont présentes.

Ce spectre ne traduit pas une phase rigoureuse mais indique un rafraîchissement climatique avec une certaine humidité faisant suite à une phase tempérée notable (terme de passage d'une ambiance « interglaciaire » à une ambiance « pléniglaciaire »). Une telle situation est connue au début du Würm ancien, lors du passage du dernier interglaciaire à la phase I, de la transition de la phase II à la phase III et de la phase IV à la phase V du « Würm I » (selon nomenclature de Laville, 1973).

2.2.3. *Les pyroclastites du Béchet*

La datation T.L. a été mise en oeuvre sur des échantillons prélevés dans les pyroclastites de la carrière du Béchet (Cf § 3.1.). Le résultat obtenu est le suivant :

Cler TL50 : 94 000 ± 14 000 avant 1980.

2.2.4. *Discussion*

La date obtenue se place à l'intérieur du stade 5 de la courbe isotopique des océans, plus précisément à la limite entre les sous-stades 5b et 5c. L'incerti-

tude qui l'affecte définit une tranche de temps comprise entre 80 000 et 108 000 BP, soit une partie tempérée du sous-stade 5a (= phase IV du Würm ancien = St Germain II) et les sous-stades 5b (froid; = phase III du Würm ancien = Melisey II) et 5c (tempéré; = phase II du Würm ancien = St Germain I) selon les corrélations récemment proposées pour le Würm entre domaine continental et marin (Woillard, 1978; Laville *et al.*, 1983; Laville *et al.*, 1984; Turon, 1984).

Or l'analyse palynologique des colluvions sous-jacentes au « tuff-ring » évoque une étape de passage d'une période biostatique tempérée à une période plus froide et humide, conditions réunies lors de la transition de la phase II à la phase III du Würm ancien, mais également de la phase IV à la phase V.

Mais, l'analyse des données sédimentologiques, palynologiques et paléontologiques des dépôts lacustres de la dépression cratérique montre que la sédimentation y débute au plus tard pendant la dernière phase tempérée du Würm ancien (= sous-stade 5a = St Germain II; abondance des cervidés) et se poursuit pendant les dernières pulsations froides de l'ex « Würm I » (présence du Renne et de la Marmotte), soit le début du stade isotopique 4.

Nous concluons donc par le choix de l'hypothèse « haute », en accord avec le résultat T.L., qui situe l'explosion du maar de Saint-Hippolyte dans le Würm ancien, vers 94 000 ans BP, pendant la transition de la phase II à la phase III, à la limite des sous-stades 5b et 5c de la courbe isotopique des océans (= transition St Germain I — Melisey II).

3. Le volcanisme bordier de Grande Limagne

3.1. *La coulée de l'avenue du Mont-Dore à Beaumont*

Elle a été étudiée à Beaumont, 120 av. du Mont-Dore, sur son point d'émission (coordonnées Lambert X = 657,14, Y = 83,32, feuille à 1/25 000 Clermont-Ferrand 7-8; altitude 495 m) et plus en aval, 16 rue Maradet, où elle repose sur des alluvions anciennes de l'Artière (Fig. 2, n° 4 et Fig. 4).

Autrefois considérée comme faisant partie du système éruptif de Gravenoire, elle est en fait issue d'un « spatter-cone » du rebord sud du maar de Montpoly (Camus *et al.*, 1983). Elle a localement emprisonné des sables et des argiles qu'elle a cuits, transformant en particulier l'argile en une véritable porcelaine naturelle, la porcelanite. La datation T.L. a été mise en oeuvre sur ces éléments (Miallier, 1982).

Les données paléontologiques et géologiques anciennement réunies par Vergnette (1927) laissaient supposer un âge Würm ancien pour cette coulée. Les

arguments paléomagnétiques (aimantation rémanente positive) excluent la période de l'événement de Laschamp (Guérin, com. pers.). Enfin, l'absence de minéraux lourds du volcanisme récent de la Chaîne des Puys dans les niveaux sédimentaires sous-jacents indique également un âge ancien (Pomel, com. pers.).

3.1.1. Les alluvions sous-jacentes

La coupe étudiée rue Maradet à Beaumont montre, sur le substratum marno-calcaire, une formation fluviale grossière (graviers de basalte, galets cristallins) à lentilles sablo-limoneuses.

L'étude palynologique conclut à un stade très élaboré avec des conditions rigoureuses et steppiques qui évoquent un épisode majeur du Würm ancien dans sa seconde partie (« Würm II ») corrélable avec l'essentiel du stade isotopique 3 (Laville *et al.*, 1984) et de la zone Lanterne II de la Grande Pile (Woillard, 1978).

3.1.2. La coulée

Cette coulée avait déjà fait l'objet de tentatives de datation (Huxtable *et al.*, 1978) sur un échantillon recueilli au même endroit que les nôtres et un second quelques centaines de mètres plus en aval. Les âges alors proposés (respectivement 50 000 et 34 000 BP) sont considérés par Aitken davantage comme des tests d'ancienneté que comme des datations précises (absence de dosimétrie) dont il qualifie la précision de « mauvaise » (communication personnelle).

Le résultat de nos expériences est le suivant :

Cler TL 13 : $41\,000 \pm 6\,000$ avant 1980.

3.1.3. Discussion

Le sédiment daté a fait l'objet de trois mesures de paléomagnétisme : l'aimantation rémanente est de direction normale (Barbetti, *in litteris*), ce qui confirme les résultats de Roche (1953) obtenus sur le basalte. La période correspondant à l'événement de Laschamp (43 000 à 29 000 B.P. selon Guérin, 1983) est donc exclue, ce qui plaide en faveur d'un âge situé dans la partie « haute » de la fourchette proposée et serait en bon accord avec les calculs approximatifs de Huxtable par la méthode des grains fins et la méthode des inclusions sans dosimétrie de site. Les alluvions sous-jacentes mises en place pendant le pléniglaciaire du Würm ancien sont de peu antérieures à la coulée qui comble un paléo-thalweg de la branche ouest de l'Artière, repoussant son cours vers le Sud-Est. Il n'est pas sans intérêt de signaler que cette évolution avait été pressentie par Pommerol dès 1880...

3.2. La coulée de Royat

Sous ce vocable sont réunies quatre coulées localement superposées et généralement attribuées au Petit-Puy-de-Dôme : elles ont emprunté la vallée de la Tiretaine, la plus ancienne jusqu'à Chamalières, la seconde jusqu'aux environs du Pont des Soupîrs, les deux dernières s'arrêtant à la Font de l'Arbre (Glangeaud, 1913; Glangeaud, 1954; Auriat, 1957).

La datation des deux coulées les plus anciennes a fait l'objet de nombreuses approches en divers points, tout d'abord par la méthode du radiocarbone appliquée aux dépôts sus et sous-jacents (Brousse *et al.*, 1969 a,c; Camus, 1975), puis par la méthode du déséquilibre Uranium-Thorium (Morand *et al.*, 1978), enfin par thermoluminescence d'argiles rubéfiées (Huxtable *et al.*, 1978) et des feldspaths du basalte (Guérin, 1983). Nous ne retiendrons que ces dernières (TL) comprises entre $21\,000 \pm 1\,800$ et $43\,500 \pm 4\,100$ B.P. pour comparaison avec nos résultats (*Cf. infra*).

L'étude de l'aimantation rémanente des laves et des sédiments cuits par la coulée la plus ancienne (Brunhes et David, 1903; Bonhommet et Babkine, 1966; Bonhommet, 1972; Barbetti et Flude, 1979) apporte des renseignements différents selon les emplacements étudiés : la coulée la plus ancienne présente en certains points un magnétisme rémanent proche de la normale, la seconde coulée présente une direction intermédiaire. Il est généralement admis que la mise en place de ces coulées s'est produite pendant l'événement de Laschamp mais on ne retrouve pas ici les caractéristiques mises en évidence à Olby et Laschamp. La fourchette 29 000 — 43 000 B.P. (*Cf. supra*) est retenue comme hypothèse de travail.

Les travaux d'urbanisme effectués dans l'agglomération de Royat-Chamalières ont permis l'examen de plusieurs coupes intéressant la coulée la plus ancienne. Nous avons retenu deux points d'observation situés Résidence Sainte-Madeleine à Chamalières et Boulevard de la Taillerie à Royat et concernant le même épanchement (Fig. 2, n° 5 et Fig. 4).

3.2.1. Coupe de Sainte-Madeleine à Chamalières

Les travaux de construction de la Résidence Sainte-Madeleine, avenue Jean Jaurès à Chamalières (à proximité de l'emplacement de la Source des Roches), ont permis l'observation d'une série volcano-sédimentaire intéressant l'extrémité orientale de la coulée de Royat, là où elle s'est étalée dans la dépression du maar des Salins (coordonnées Lambert X = 657,45, Y = 85,72, feuille à 1/25 000 de Clermont-Ferrand 7-8; altitude 390 m).

Onze unités stratigraphiques ont été définies, de bas en haut (Fig. 7) :

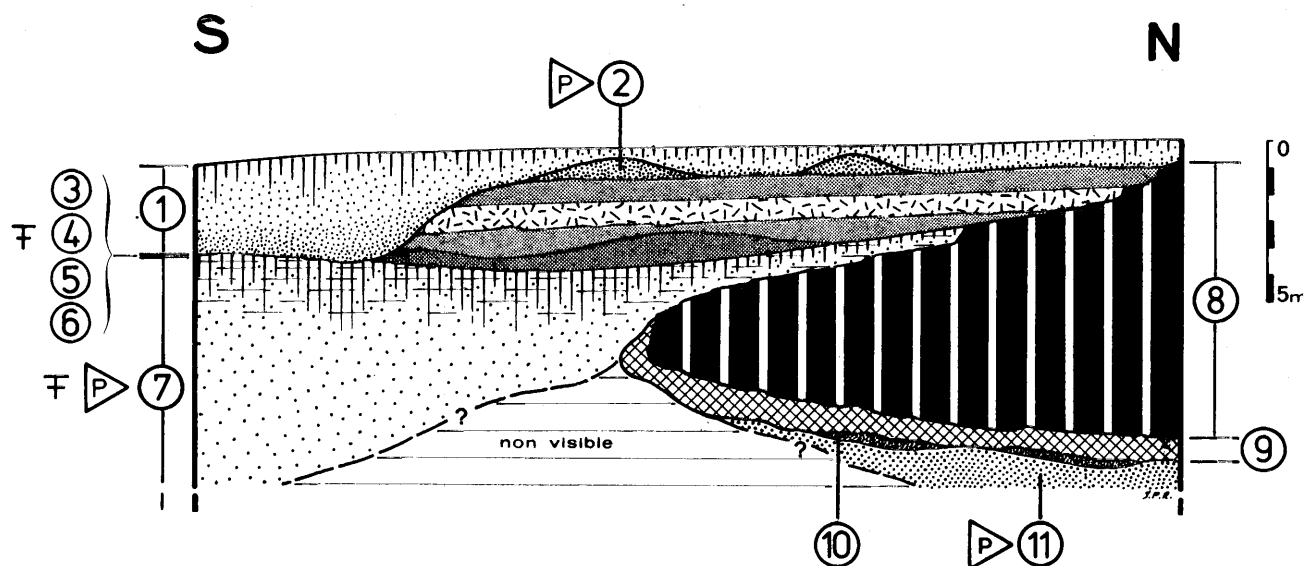


Fig. 7. — Coulée de Royat à Chamalières. Croquis stratigraphique à l'emplacement de la Résidence Sainte-Madeleine (légende dans le texte).
Fig. 7. — Royat lava flow at Chamalières. Section at Sainte-Madeleine building (see legend in text).

— Unité 11 : sables fins limoneux alluviaux, puissance non reconnue. Leur analyse palynologique révèle un paysage de parc assez dense (AP 42 à 45 %). Le Pin sylvestre, l'Aulne et le Chêne, en proportions sensiblement égales (10 à 12 %), sont accompagnés d'un cortège de feuillus : Noisetier, Saule, Tilleul, Orme, Lierre et Fusain. Les Herbacées sont principalement des Graminées et des Cypéracées, accompagnées de quelques Ericales, Rosacées, Ombellifères, Hygrophiles (*Typha*) et Héliophiles banales (Composées, Polygonacées, Urticacées). On note d'assez nombreuses spores de Fougères (*Athyrium*, *Polypodium*, *Cystopteris*). Il s'agit donc d'une flore de climat assez doux et humide à caractère interstadiaire. Elle évoque l'interstade würmien (« interstade Würm II — III »; Laville *et al.*, 1984) et se rapproche de celle rencontrée à Royat au début de la troisième phase (Cf. *infra.*, § 2.3.3.2.).

— Unité 10 : cendres volcaniques localement conservées sur une faible épaisseur.

— Unité 9 : scories et brèche de poussée.

— Unité 8 : coulée basaltique.

— Unité 7 : colluvions anciennes sablo-argileuse localement très puissantes (5,00 m visibles) et reposant sur la coulée dont elles empâtent le toit scoriacé. Affectées par une pédogenèse dont ne subsiste qu'une partie de l'horizon d'accumulation de structure colonnaire à prismatique, elles contiennent dans leur partie inférieure des restes fauniques (Cerf de grande taille et petit Cheval) qui évoquent une phase froide du Würm récent.

L'analyse palynologiques de la partie supérieure de cette unité livre un spectre marqué par l'abondance du Pin sylvestre et du Bouleau, à Genévrier peu abondant, caractéristique de l'Alleröd dans le

Massif Central (De Beaulieu, 1969; De Beaulieu et Reille, 1978).

Les colluvions argileuses de l'unité 7 résultent donc d'une mobilisation des versants qui s'achève lors de l'amélioration climatique d'Alleröd. Elles peuvent être rapprochées de celles décrites avenue des Thermes à Royat dont le paléosol sommital a été daté par radiocarbone de la fin de l'Alleröd (Gif 1409 : $11\,000 \pm 150$ B.P.) (Brousse *et al.*, 1969 a). Leur mise en place traduit bien sûr une période de dénudation des versants en ambiance climatique froide (Dryas II) mais cette reprise d'érosion est sans doute également consécutive à une vidange partielle du système lacustre installé dans la dépression subsidente (Pelletier, 1965) des maars coalescents de Jaude-Salins-Chamalières dont les plus hauts dépôts lacustres fossilisent localement l'extrémité orientale de la coulée la plus ancienne de Royat (diatomites de la Source des Roches) et sont rapportés au Dryas ancien (Brousse *et al.*, 1969 a).

— Unités 6 à 3 : retombées partiellement directes formées de cendres compactes, cendres vannées et lapillis. Elles sont identiques à celles décrites dans le secteur du Creux-Rouge que nous avons rapportées au Puy de Pariou (Raynal *et al.*, 1979) et situées au Boréal, entre $8\,150 \pm 150$ B.P. (Gif 2113; dernières éruptions du cratère Kilian et du Puy Chopine; Brousse, 1973) et 7 500 B.P. environ. Cette hypothèse, confortée par la date radiocarbone (Sa 94 = $8\,580 \pm 350$ B.P.) obtenue sur des bois fossiles situés sous des alluvions antérieures à la coulée du Pariou à Nohanent (Pelletier et Rudel, 1958) a trouvé une récente confirmation par la datation T.L. de la coulée du Pariou : CP 10 = $8\,180 \pm 810$ B.P. (Guérin, 1983).

- Unité 2 : colluvions sablo-argileuses jaunâtres ravinées et conservées par place en minces placages (0,30 m). Leur spectre palynologique évoque la première partie du Boréal, avant la poussée classique du Noisetier (De Beaulieu et Gillot, 1972).
- Unité 1 : colluvions récentes contenant des vestiges proto-historiques à historiques.

3.2.2. Coupe du boulevard de la Taillerie à Royat

L'ouverture d'un boulevard a permis l'étude des formations volcano-sédimentaires accumulées dans la paléo-vallée de la Tiretaine (coordonnées Lambert X = 655,20, Y = 85,31, feuille à 1/25 000 de Cler-

mont-Ferrand 5-6; altitude 525 m). La coulée ancienne est ici peu puissante (Fig. 2, n° 5 et Fig. 4) car observée sur son rebord nord. Elle fossilise plusieurs générations de colluvions anciennes résultant du démantèlement d'un manteau d'arènes granitiques et de minces placages d'alluvions. Elle est elle-même fossilisée par des projections fines de dépôts en eau calme (Fig. 8).

3.2.2.1. Stratigraphie

Deux loci ont été étudiés et les corrélations suivantes établies : (Tabl. 1)

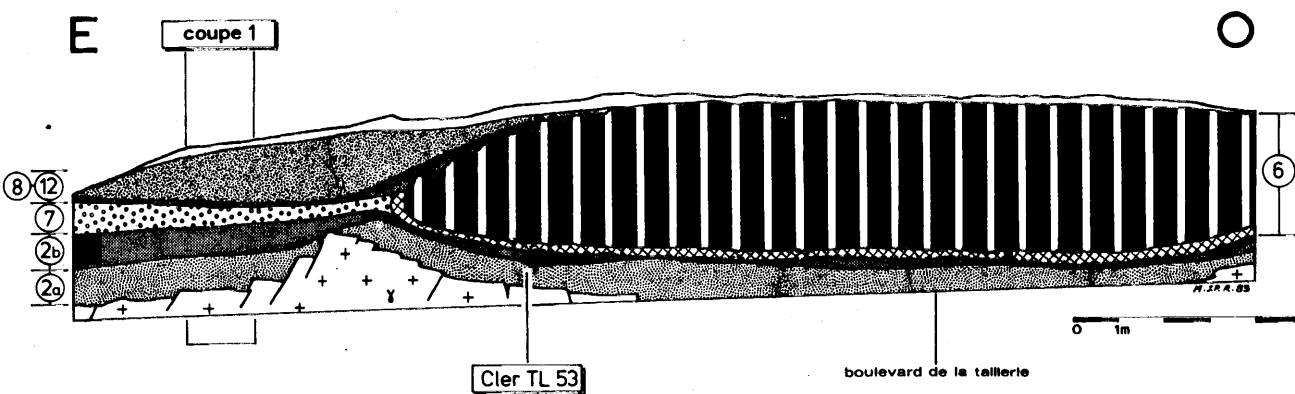


Fig. 8. — Coulee de Royat. Croquis stratigraphique à l'emplacement du boulevard de la Taillerie à Royat (légende dans le texte).
Fig. 8. — Royat lava flow. Section at boulevard de la Taillerie in Royat (see legend in text).

Tabl. 1. — Stratigraphie observée Boulevard de la Taillerie à Royat.

LOCUS I			LOCUS II	
Unité	Caractérisation	Phase palynologique	Unité	Caractérisation
12 11 10	(alluvions (à (dômite	Phase 4 (=Holocène) "		((colluvions (
9 8 7 6 3	all. en eau calme projections alluvions coulée basalte lacune projec. reman.	Phase 3 Phase 3 Phase 3 - Phase 3 Phase 3	6 5 4 st	lacune " " coulée basalte colluvions colluvions
2 b 2 b	colluvions colluvions	Phase 2 Phase 2	4 base 3	colluvions colluvions
		Phase 1	2	colluvions
2 a	arène	?	1b	arène
1	granite		1	granite

De façon générale, les colluvions des deux loci attestent d'un rééquilibrage morphologique des versants sous des conditions climatiques fraîches et humides, caractéristiques d'une période de transition. Un doute subsiste quant à la position des unités 7 et 8 du locus I par rapport à la coulée : leur postériorité n'a pu être définitivement établie. Cependant, les alluvions des unités 9 à 12 du locus I traduisent une sédimentation en eaux calmes et évoquent une phase lacustre conséquence possible d'un barrage temporaire du vallon par la coulée.

3.2.2.2. Palynologie

Les phases palynologiques présentent les caractères suivants :

Phase 1 :

Elle a été reconnue dans les colluvions de la base du locus II (unité 2). La flore arbustive est assez développée (AP 30 %) et constituée essentiellement de Pin sylvestre (15 %), Bouleau (7 %) et Noisetier (3 %), accompagnés de rares feuillus thermophiles : Saule, Aulne et Chêne.

Le développement du Pin sylvestre, espèce se comportant en pionnière, caractérise une phase de reconquête forestière ; il en est de même pour le Bouleau. Ces deux essences, très aptes à repeupler les espaces libres, préparent le retour de feuillus thermophiles.

Les herbacées sont surtout des Graminées (dominantes) accompagnées d'assez nombreuses Composées parmi lesquelles les *Artemisia* sont sporadiques. Un petit cortège d'autres Héliophiles, en faibles ou très faibles proportions, comprend des Chénopodiacées, Crucifères, Polygonacées et *Plantago*. On note la présence de quelques Cypéracées.

Cette phase apparaît donc comme fraîche, mais non rigoureuse et assez humide (présence de Cypéracées).

Phase 2 :

L'analyse des colluvions de la base du locus I (unité 2 b) et du locus II (unités 3 et 4 base) révèle une nette progression du boisement (AP 34 à 39 %) caractérisée par une extension du Noisetier (12, puis 20 %). Si le Pin sylvestre (6 %) et le Bouleau sont en net recul (3 %), les feuillus thermophiles sont en nette progression : Aulne (4 %), Chêne (3 %), Saule (3 %), Hêtre sporadique. On note également la présence du Lierre.

La strate herbacée est dominée par les Graminées et les Cypéracées et d'assez nombreuses Hygrophytes (*Typha*) sont présentes. On rencontre en moins grand nombre des Ericales (*Erica cinerea*, *Calluna*), des Composées, des Papilionacées (*Genista*, *Ulex*) et d'assez nombreuses spores d'*Athyrium*, *Polypodium*, *Pteridium aquilinum*.

Il s'agit donc d'une phase d'amélioration thermique assez douce et nettement humide. Le boisement s'intensifie, les herbacées témoignent de l'existence de zones humides et de landes à Ericales et Fougère Aigle.

Phase 3 :

Les essences forestières progressent encore dans une première étape (AP 43 à 46; locus I, unité 3; locus II, unité 4 sommet) pendant laquelle le Chêne, en rapide développement, est en proportion sensiblement égale à celles du Pin et de l'Aulne (12 à 13 %) et le Noisetier en fort recul. On note l'apparition du Tilleul, de l'Orme et du Charme.

Dans une seconde étape, le boisement s'élève (AP 53 % en moyenne; locus I, unités 7 à 9; locus II, unité 5) avec Chêne (16 %), Aulne (12 %), Noisetier (6 %), Pin (5 %), Saule (5 %), Tilleul (4 %), Orme (3 %), Charme (2 %) et Hêtre (1 %).

Les Cypéracées, les Graminées et les Hygrophytes sont très nombreuses parmi les herbacées. On note également de nombreuses Fougères (*Athyrium*, *Polypodium*, *Cystopteris*, *Pteridium*).

Cet ensemble caractérise un paysage de parc dense avec Pinèdes sur les sommets, Chênaies claires à sous-bois de Noisetiers et arbustes (Lierre, Houx, Fusain, Bourdaine), forêts-galeries (Aulnes et Saules). Les conditions climatiques sont alors douces et nettement humides, plus marquées que pendant la phase 2.

En conclusion, de la base des colluvions de chaque locus jusqu'à la mise en place de la coulée et immédiatement après, on observe l'établissement progressif d'une amélioration climatique de nature interstadiaire, douce et humide, jusqu'à l'instauration d'un optimum thermique bien marqué. Une telle situation climatique est connue lors de l'interstade würmien (« interstade Würm II — III », Laville *et al.*, 1984). Cette période serait ici saisie pendant le terme 1, de son tout début à l'instauration de l'optimum, antérieurement aux termes 2 (plus frais) et 3 (tempéré = « Les Cottés »).

3.2.2.3. Datation de la rubéfaction

La datation a été mise en oeuvre sur des grains de quartz extraits des colluvions rubéfiées de l'unité 2b du locus 1. Le résultat est le suivant :

Cler TL 53 : $37\,000 \pm 7\,000$ avant 1980.

3.2.2.4. Discussion

La dispersion des résultats antérieurs par T.L. est grande : (Tabl. 2)

Les auteurs admettent la possibilité d'un effet de fading anormal, source d'un rajeunissement important, pour les dates obtenues sur les sédiments rubéfiés par la coulée. Il est par conséquent hautement probable que la fourchette couramment admise

Tabl. 2. — Datations antérieures de la coulée de Royat par thermoluminescence.

Ech.	Localisation	Auteur	Nature	Age T.L.
J1	Royat	HUXTABLE,	Rubéfaction	24 000 \pm 2 700
J3.1	rive gauche	AITKEN et	"	34 000 \pm 3 600
J3.2	de la	BONHOMMET	"	26 000 \pm 2 700
J11	Tiretaine	(1978)	"	21 000 \pm 1 800
J42	"	"	"	32 000 \pm 3 200
J32	"	"	"	29 000 \pm 2 800
J34	"	"	"	30 000 \pm 2 600
Moyenne:				25 800 \pm 2 200
CP 99	Royat (parking)	GUERIN (1983)	Basalte coulée 1	43 500 \pm 4 100
CP 1	Pont des Soupîrs	GUERIN (1983)	Basalte coulée 2	40 600 \pm 3 100

pour l'événement de Laschamp (43 000 à 29 000 B.P.) doit être sensiblement raccourcie : elle pourrait correspondre plus étroitement à tout ou partie de l'amélioration climatique de l'interstade würmien (43 000 à 34 000 B.P.)... Les dates obtenues par Guérin sur les plagioclases du basalte sont en bon accord statistique avec la nôtre. Comme à Neschers (Cf. *infra* § 2.4.2.3.), le résultat concernant la rubéfaction est légèrement plus jeune que celui concernant les plagioclases de la coulée.

En conclusion, la coulée la plus ancienne de Royat, se serait épanchée au tout début de l'optimum climatique de l'interstade würmien, pendant l'événement de Laschamp, vers 40 000 B.P. environ. Elle fossilise des dépôts sédimentaires mis en place pendant les premiers moments de cet interstade et pour la première fois décrits.

3.3. Le Puy de Gravenoire

Cet édifice complexe culmine à 823 m sur la faille bordière de la Limagne. D'aspect très frais, il a dès l'origine suscité la curiosité des géologues (Guettard, 1752) mais également des préhistoriens lors de la découverte du squelette humain de la carrière de la Brenne (Girod et Gautier, 1891).

Nous avons cherché à dater une coulée dont la situation dans le système éruptif de Gravenoire soit très claire. Choisie dans la carrière Guitard située au bord du circuit de Charade (coordonnées Lambert X = 655,56, Y = 84,06, feuille à 1/25 000 Clermont-Ferrand 5-6; altitude 750 m) (Fig. 2, n° 6 et Fig. 4) elle repose sur le socle granitique par l'intermédiaire d'une zone arénisée et colluvée et d'une brèche d'avancement. Cette dernière, de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur, est composée de lave scoriacée enrobant des matériaux arrachés en amont au substrat granitique lors de la progression. Nous y avons prélevé un fragment de granite vraisemblablement porté à haute température.

3.3.1. Les colluvions d'arène sous-jacentes

De bas en haut, la stratigraphie suivante a été relevée :

- socle granitique,
- arène colluvée jaune à gris-jaune comportant vers son sommet un lit de blocs de granite, puissance minimum 1,00 m,
- arène colluvée argileuse à passées grisâtres, 0,40 m,
- colluvions brunes, 0,60 m,
- brèche d'avancement, 0,35 m,
- basalte (0,75 m) surmonté par les scories noires et rouges du cône.

L'analyse palynologique des trois niveaux de colluvions a révélé des flores très pauvres en essences arbustives (AP 10 à 12 %) qui évoquent un stade très déboisé et steppique, épisode majeur d'une phase glaciaire.

Ces conditions très sévères sont connues pendant le dernier glaciaire (Würm), en particulier dans la première partie du Würm récent (« Würm III » = début du stade isotopique 2 en domaine marin) qui paraît avoir été sous nos latitudes froid et steppique, entrecoupé de courtes oscillations plus douces (Arcy, vers 31 000 — 30 000 B.P.; « Kesselt », vers 29 000 — 27 000 B.P.; Tursac, vers 24 000 — 23 000 B.P.) (Laville *et al.*, 1983).

3.3.2. Datation de la coulée

Nous avons utilisé un matériau (granite) complexe dans la mesure où sa radioactivité propre n'est pas du tout répartie d'une façon homogène (8). La

(8) Analyse du granite utilisé en T.L. par A. Gourgaud, Département de Géologie, Université de Clermont II, 63038 — Clermont-Ferrand Cedex (France). Référence LM 52367/TL 8. Structure grenue, grain moyen, légère tendance porphyroïde. Composition minéralogique : Quartz, Feldspaths très séricitisés, début de kaolinisation (plagioclase et Feldspath alcalin : microcline ? ou feldspath alcalin finement perthitique. Biotite décolorée; concentration d'oxydes de fer dans les clivages; début de chloritisation.

répartition de la dose d'irradiation due aux familles de l'Uranium et du Thorium a été calculée par autoradiographie alpha avec un détecteur solide de traces nucléaires (D.S.T.) (Miallier, 1982). Le résultat obtenu est le suivant

Cler TL 6 : $28\,700 \pm 4\,000$ avant 1980.

3.3.3. Discussion

L'âge obtenu est en bon accord avec la palynologie des colluvions sous-jacentes qui caractérise un épisode majeur du Würm récent rapportable à l'une des trois phases définies dans le « Würm III » du Sud-Ouest (Laville, 1973) : phase II, antérieure à 31 000 B.P. environ; phase IV, vers 30 000 — 29 000 B.P.; phase VI, entre 27 000 et 24 000 B.P. environ; ces épisodes ont été respectivement corrélés avec la fin du stade isotopique 3 et la première partie du stade 2 en domaine océanique (Laville *et al.*, 1983).

L'aimantation rémanente de deux fragments de socle contenus dans la brèche d'avancement est normale (Barbetti, *in litteris*), ce qui exclut un âge vers la partie « haute » de la fourchette proposée, compte tenu de la durée repérée de l'événement de Laschamp (43 000 — 29 000 B.P. selon Guérin, 1983).

Nous concluons donc à l'existence d'une phase éruptive strombolienne du Puy de Gravenoire *sensu stricto*, contemporaine d'une période d'adoucissement (« Kesselt ») immédiatement postérieure à la quatrième phase climatique froide et steppique du Würm récent.

Ce résultat n'est pas en accord avec celui de Guérin (1983), CP 100 : $56\,800 \pm 5\,500$, obtenu sur un affleurement attribué également au Puy de Gravenoire. Cependant la chronologie des produits de cet appareil est certainement complexe et demandera un échantillonnage plus exhaustif des différentes formations pour être bien comprise.

4. Le volcanisme récent du Sud de la Chaîne des Puys au contact du Cézalier : exemple de la coulée du Tartaret à Neschers

Le Sud de la coulée de la Chaîne des Puys est connu pour l'âge récent de son activité : le maar basaltique d'Estivadoux, le Puy de Montchal et le maar trachytique du Pavin auraient été en activité entre 6 750 et 3 450 B.P. (Camus *et al.*, 1983); le Puy de Tartaret aurait également émis la plus longue coulée basaltique d'Auvergne qui emprunte sur 22 kilomètres la vallée de la Couze Chambon vers 6 900 B.P. (Brousse *et al.*, 1976). Ces datations restent cependant sujettes à caution compte tenu des incertitudes liées à la datation des paléosols (et particulièrement des andosols) par la méthode du radiocar-

bone (Hétier, 1975). Nous nous sommes intéressés à la coulée du Tartaret, près de son extrémité orientale au village de Neschers (Fig. 2, n° 7).

4.1. Rappel historique

Le gisement préhistorique du Chirel (ou du Moulin-sous-Chirel) à Neschers (Puy-de-Dôme) est l'un des plus anciennement connus de France. Entre 1845 et 1852, l'Abbé Croizet et Jobert y reconnurent l'existence d'ossements travaillés par l'homme et d'une faune abondante, associés à de rares témoins d'outillage lithique (« silex cultriformes », Pomel, 1843; « silex éclatés », Pommerol, 1876) (9). L'attribution culturelle au Magdalénien supérieur, sur la foi des documents paléontologiques et des oeuvres d'art mobilier, paraît incontestable (Daugas, 1977).

Croizet (1853, 1855) ne donna jamais un avis définitif sur la position de ces découvertes par rapport à la coulée : elles auraient été faites « sous la coulée du Tartaret », opinion confirmée par Lyell (1845), mais pourraient également avoir été contenues dans des « alluvions (ayant) pénétré plus tard sous la coulée » ou « enfouis postérieurement dans le vide laissé par une boursoufflure de la lave ». Pour Boule (1906), les dépôts fossilifères sont postérieurs à la coulée et plaqués latéralement, peut-être sous abri. Cette dernière interprétation est conforme à l'implantation de la plupart des sites magdaléniens de la région, sous abri au pied d'abrupts basaltiques.

En 1972, Daugas et Rudel retrouvaient un affleurement dans un abri naturel aménagé en cave du Moulin-sous-Chirel et prélevaient un niveau centdreux sous la coulée dont la datation par radiocarbone donne un résultat de $2\,970 \pm 110$ B.P. (Gif 2960), incompatible avec l'existence, au toit de la coulée, d'un gisement néolithique *in situ* (Pagès, Allary et Vernière, 1927).

En 1975, les travaux routiers effectués à dix kilomètres en amont de Neschers dégageaient le contact entre la coulée et le socle granitique thermométamorphisé; par place, se rencontraient des poches d'alluvions sableuses riches en matières organiques dont la datation par radiocarbone indique un âge de $6\,900 \pm 500$ B.P. (Gif 3589) (Brousse *et al.*, 1976). Ce dernier résultat reposait donc la question de la position du gisement magdalénien par rapport à la coulée du Tartaret.

4.2. La coupe du Moulin-sous-Chirel

Dans l'abri naturel aménagé en cave adossée à la coulée et situé cent mètres en aval du moulin (coordonnées Lambert X = 644,20, Y = 65,95, feuille à 1/25 000 de Veyre-Monton 7-8 : altitude

(9) Historique détaillé in Daugas (1977).

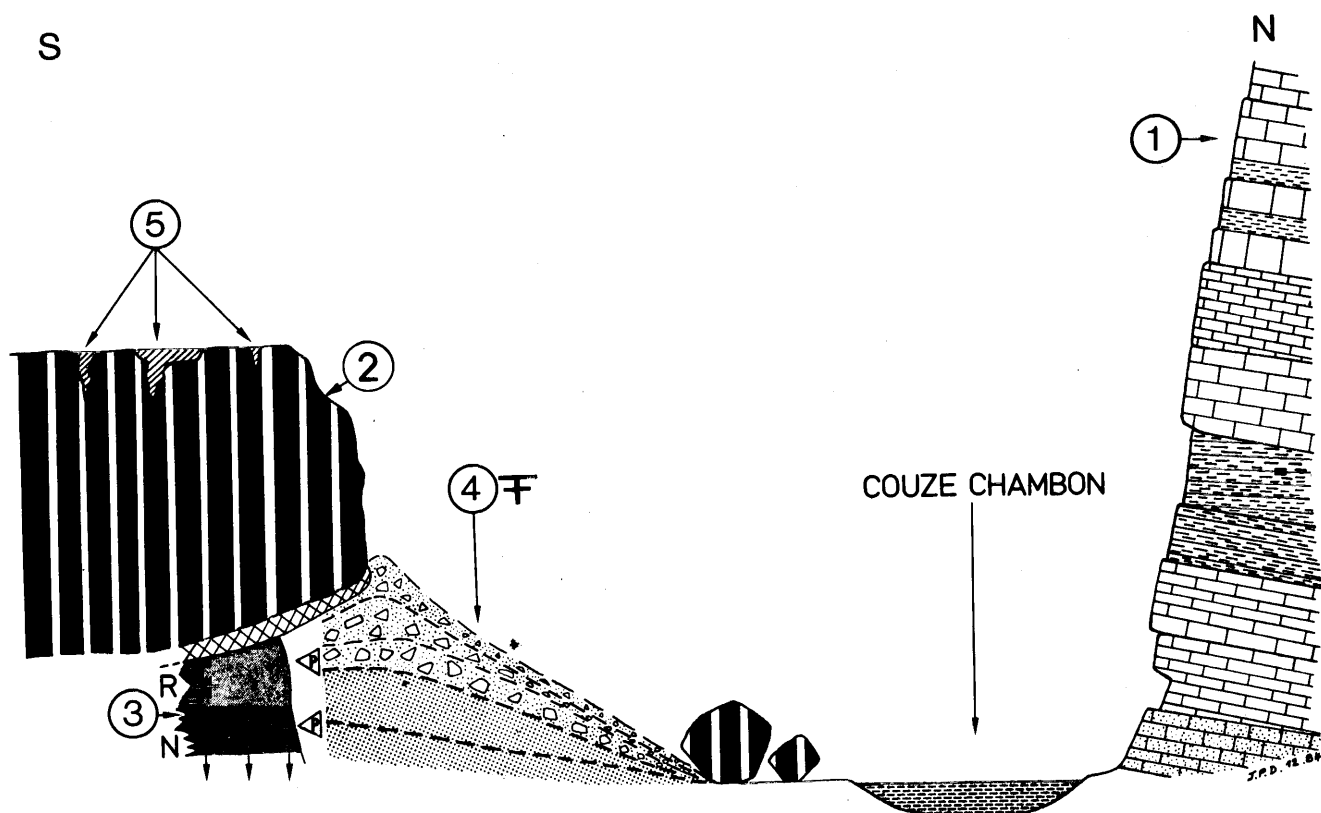


Fig. 9. — Coulée du Tartaret à Neschers. Coupe transversale de la vallée montrant la position des différentes unités décrites.

1 : Série sédimentaire oligocène. 2 : Coulée du Tartaret. 3 : Formation sous coulée. R : zone rubéfiée; N : zone noire. 4 : Gisement magdalénien, abri-sous-roche. 5 : Découvertes néolithiques.

Fig. 9. — Tartaret lava flow at Neschers. Transversal section of the valley showing the different units.

1 : Oligocene sedimentary units. 2 : Tartaret lava flow. 3 : Under flow unit. R : baked zone; N : black zone. 4 : Magdalenian site (rock-shelter). 5 : Neolithic sites.

410 m) (Fig. 9), s'observe une stratigraphie puissante en moyenne d'un mètre avec de haut en bas :

- la base de la coulée basaltique,
- la brèche d'avancement de la coulée (0,40 m),
- une zone rubéfiée (0,30 m), développée sur un sédiment sablo-argileux riche en éléments grossiers (plaquettes de calcaire notamment) dont l'organisation dans la partie ouest de la coupe évoque une dynamique fluvatile,
- une couche noire (0,30 m visibles).

4.2.1. Etude micromorphologique de la transition rouge-noir

Cette transition étudiée sur lame mince de grand format (2) permet de distinguer trois types de matériaux (Courty, *in litteris*) :

- au sommet de la partie rouge, sont mêlés d'une part un matériel très fin rouge, peu abondant, constitué d'agrégats argileux et de paillettes micacées, d'autre part un sable quartzueux assez grossier (200 μ m), tous les grains possédant un « coating » argileux rouge.
- un sédiment à squelette hétérogène abondant (fragments de basalte, sables grossiers quartzueux,

fragments de roche calcaire, nombreux cristaux de muscovite, de pyroxènes) et à fond argilo-carbonaté indifférencié.

L'ensemble de ces matériaux a été transformé sous l'effet d'élévations intenses de températures :

- rubéfaction pour la partie supérieure par suite d'une combustion en atmosphère oxydante,
- noircissement pour la partie inférieure par suite de conditions réductrices.

Les teintes rouge et noire résultent clairement de deux types de combustion d'un même matériel : une continuité parfaite tant dans la structure que dans la composition minéralogique caractérise le passage du noir au rouge.

De plus, le matériel initial était sans aucun doute riche en matières organiques, comme en témoigne l'abondance de « fantômes » d'organisations végétales dans la partie rubéfiée : il pourrait par exemple s'agir d'un horizon de surface (restes racinaires). Cette matière organique est totalement calcinée dans la partie rubéfiée et transformée en carbonates; ces carbonates intimement mêlés à l'argile rouge démontrent que les fractions minérales et organiques

l'étaient également avant la combustion. Dans la strate noire, la calcination n'est que partielle, on ne peut parler de charbon de bois.

Un trait intéressant de cet ensemble est la présence de revêtements jaune clair, formés d'argile et de fines particules de carbonates détritiques. Ils affectent la couche noire et l'extrême base de la partie rubéfiée. Non rubéfiés, ils sont donc postérieurs à la combustion et, de par leur position, apparaissent comme un lessivage partiel et local de la strate rubéfiée. De tels revêtements n'existent jamais dans les sols non perturbés et ne correspondent pas aux conditions classiques de l'illuvation. Ils sont par contre habituels dans les zones de combustion des gisements préhistoriques de plein air. Leur formation pourrait correspondre à une sorte de rééquilibrage physico-chimique entre les zones rubéfiée et noircie.

4.2.2. Analyse palynologique de la couche noire

Les observations précédentes autorisaient l'examen palynologique de la couche noire. Ce niveau s'est avéré très pauvre et 150 pollens seulement ont été comptés. Le spectre correspond à une flore dominée par les herbacées, surtout des Composées (52 %), Cichoriées essentiellement, Tubuliflores, *Artemisia*. On rencontre aussi des Graminées et des Héliophiles (Crucifères, Chénopodiacées). Les types xérophiles (*Helianthemum*, *Galium*) représentent 5 à 7 %, le boisement est faible (Pin sylvestre 8 %, Bouleau 3 %). Il évoque un stade très déboisé avec de vastes pelouses sèches à caractère steppique. Ces conditions et ce type de flore se rapprochent de celles connues pendant les épisodes majeurs du « Würm III » du Sud-Ouest, en particulier pendant sa première moitié, phases froides et très sèches entre les améliorations d'Arcy, de « Kesselt » et de Tursac.

4.2.3. Datation de la cuisson de la couche rouge

Elle a été réalisée sur les quartz de la fraction 100-200 μm . Lors du prélèvement, l'échantillon était assez humide (poids humide/poids sec = 1,13). Le résultat est le suivant :

Cler TL 45 : $27\,000 \pm 4\,000$ avant 1980

4.2.4. Discussion

La date obtenue est en bon accord avec celles réalisées sur plagioclases de la coulée du Tartaret en amont de Neschers (Guérin, 1983) :

MD 125 : $28\,200 \pm 2\,300$ avant 1980

MD 128 : $27\,200 \pm 2\,700$ avant 1980

Ces trois résultats cohérents infirment les dates radiocarbone obtenues sous la coulée, la non calci-

nation du matériel de la couche noire à Neschers expliquant l'un des résultats. L'absence de fiabilité des datations sur humine se trouve réaffirmée.

Les dates TL sont également en bon accord avec les données paléobotaniques proposant la mise en place des sédiments de la couche noire pendant la phase IV (30 000 à 29 000 B.P. environ) ou la phase VI (27 000 à 24 000 B.P. environ) du « Würm III ». Un couvert végétal s'étant développé sur les dépôts (oscillation de « Kesselt » ?) avant l'épanchement de la coulée (Cf. micromorphologie *supra*), la solution « haute » (phase IV) correspondrait le mieux aux données disponibles.

Nous concluons donc à l'épanchement de la coulée du Tartaret sur des sédiments déposés par la végétation pendant la première partie d'une oscillation plus douce (« Kesselt » ?). La reprise d'érosion sur le bord de la coulée est immédiate; un abri sous roche se forme en pied de falaise basaltique et est occupé au Magdalénien supérieur (entre 14 000 et 12 000 B.P. environ). La vitesse d'érosion (0,10 mètre/siècle environ) et de transformation du paysage est ainsi appréciée.

III. CONCLUSIONS.

Les conclusions présentées seront de plusieurs ordres.

1. A propos du champ magnétique fossile

Les données dont nous disposons actuellement pour l'intensité du champ magnétique fossile en France, grâce notamment aux travaux de Barbetti et Bonhomme, peuvent être corrélées avec les datations pour tracer la première esquisse de la courbe de variation de cette intensité durant les 45 derniers millénaires (Fig. 10). Nous donnons dans le tableau 3 la correspondance des âges et des paléointensités magnétiques mesurées en France.

S'il est trop tôt pour en tirer des conclusions, on peut tout au moins observer que cette courbe présente une variation rapide et qu'elle permettra de bons recoupements âge/intensité du champ. C'est un encouragement à poursuivre datations et travaux conjoints de paléomagnétisme.

La durée de l'événement de Laschamp, sur la seule base des datations effectuées dans le secteur de Royat, semble devoir être raccourcie et placée en coïncidence, partielle sinon totale, avec l'amélioration climatique de l'interstade würmien, dans une fourchette de 43 000 à 34 000 B.P.

Tabl. 3. — Paléointensités magnétiques et âges.

Site	Champ magnétique fossile en microteslas	Age
Saint-Saturnin	79 ± 14 (Barbetti, 1979) 60-70 (Salis, 1984)	8890 ± 400 moyenne pondérée d'après Huxtable (1978), Guérin (1983), en accord avec ¹⁴ C "calibré" (Pelletier, 1959)
Etiolles et Marsangy	47 ± 3 (Barbetti, 1980)	12 000 ± 500 (Barbetti, 1980)
Laschamp	7,6 ± 1,4 (Ropech et Bonhommet, 1982)	30 200 ± 2 900 (Gillot et alii, 1979)
Olby	7,8 ± 2 (Ropech et Bonhommet, 1982)	39 000 ± 6 000 (Condomines, 1982) 40 300 ± 5 000 (Valladas, 1978) 45 000 ± 5 000 (Gillot in Guérin, 1983) 39 200 ± 3 000 (Guérin, 1983)
Royat	15 ± 1 (Barbetti, 1979)	25 800 ± 2 200 (Huxtable, 1978) 37 000 ± 7 000 (Miallier, 1984) 41 100 (Guérin, 1983) 43 500 (Guérin, 1983)
Boisséjour	20 ± 1 (Barbetti, 1979)	41 000 ± 6 000 (Miallier, 1982)

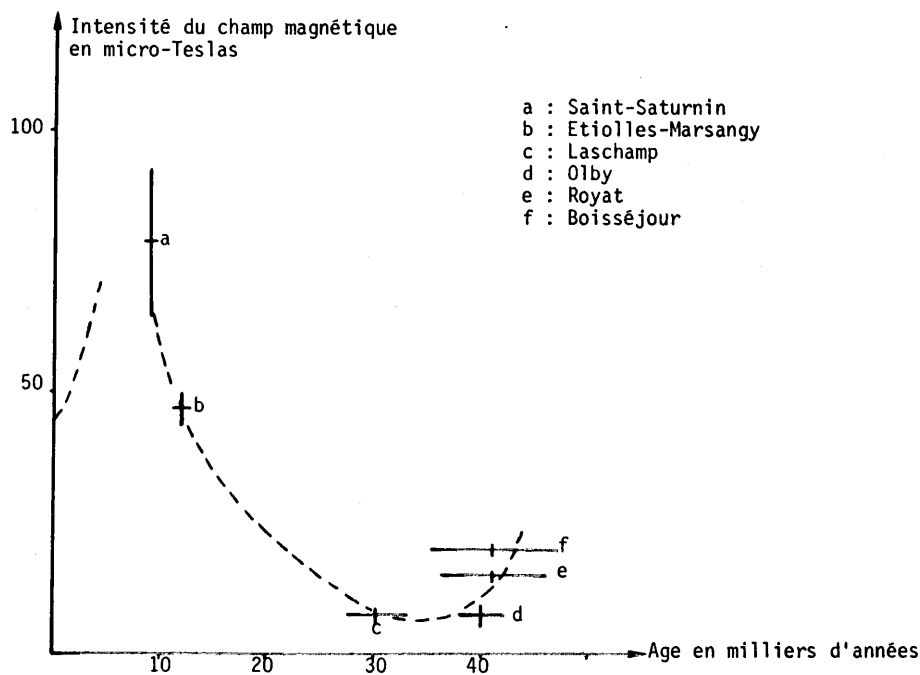


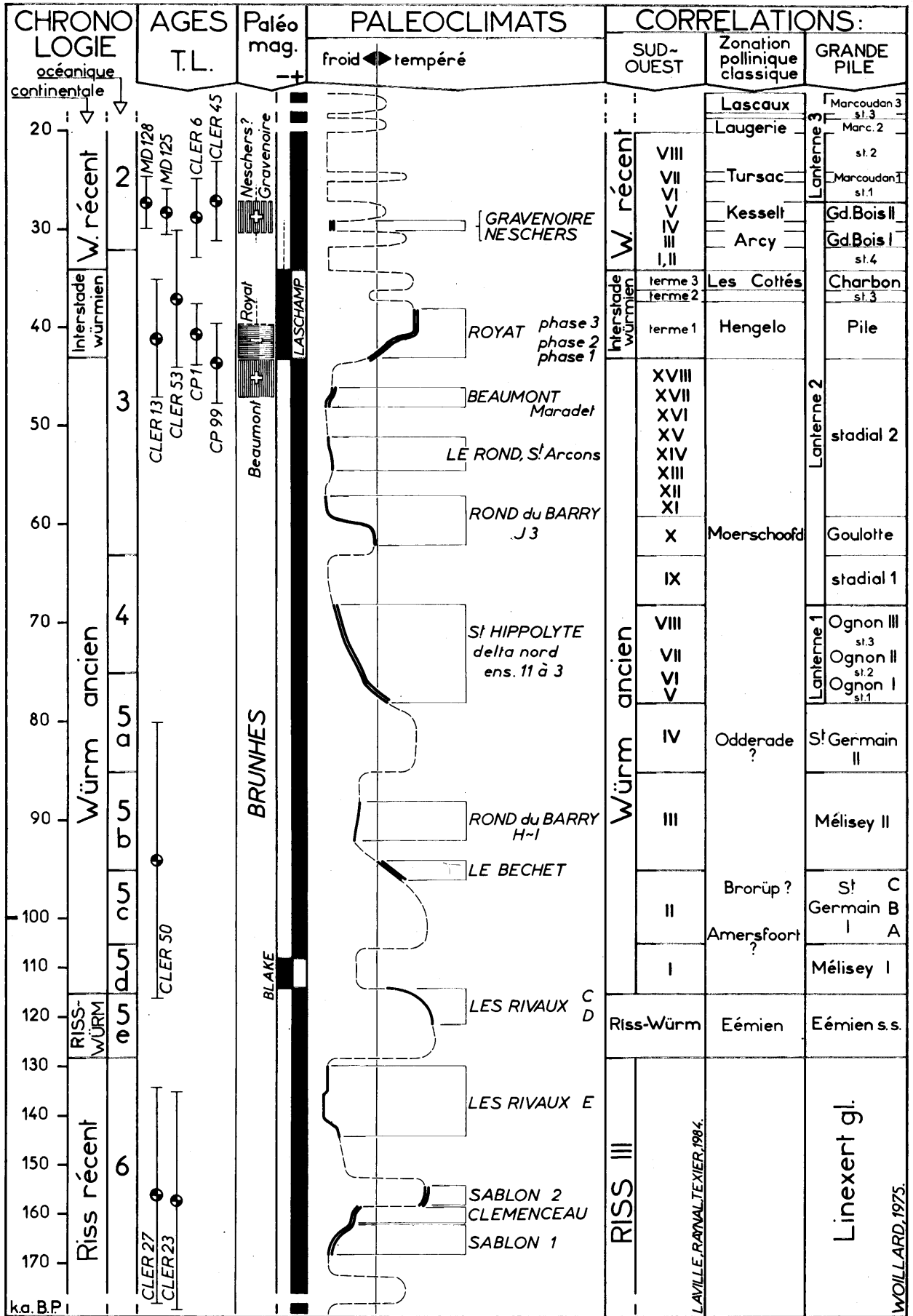
Fig. 10. — Courbe de l'intensité du champ magnétique fossile en fonction du temps.
Fig. 10. — Curve showing the variation of fossil magnetic field as a function of time.

Fig. 11. — Synthèse chronoclimatique de la fin du Riss au début du Würm récent en Auvergne et Velay et corrélations avec d'autres domaines géographiques sur la base des datations absolues par thermoluminescence, du paléomagnétisme, de la palynologie, de la paléontologie animale et de la sédimentologie.

La courbe climatique en trait doublé correspond aux séquences des sites datés par T.L.; elle est complétée en trait simple par des résultats obtenus sur des sites non datés par T.L. mais dont la position est assurée par le croisement de données naturalistes. Les dates absolues CP 1, CP 99, MD 125 et MD 128 sont empruntées à Guérin⁸ (1983).

Fig. 11. — Chronoclimatic synthesis from the end of Riss to the beginning of Upper Würm in Auvergne and Velay. Correlations with other regions on the basis of absolute T.L. datings, paleomagnetism, palynology, mammals paleontology and sedimentology.

The climatic curve is double when related to T.L. dated sites; the curve is simple when related to sites only dated by crossed naturalistic methods. Absolute datings CP 1, CP 99, MD 125 and MD 128 after Guérin (1983).



2. Chronoclimatologie du Pléistocène supérieur

Nous commençons à disposer d'une solide chronoclimatologie régionale associant des sites naturels et des sites archéologiques et permettant d'ores et déjà des corrélations avec les autres régions et domaines. Nous en résumons les grandes lignes, du Riss récent au début du Würm récent, dans la figure 11.

Nous soulignerons l'importance des données obtenues dans le secteur de Royat et en particulier la caractérisation des phases climatiques constituant le premier terme de l'interstade würmien corrélié avec les améliorations climatiques d'Hengelo et de Pile.

Les formations étudiées concernent plus particulièrement les périodes interstadias et les phases « de transition » entre ambiance interglaciaire et ambiance pléniglaciaire : une recherche en cours concerne plus particulièrement la nature des relations entre phénomènes volcaniques et climatiques.

La mise en oeuvre de la thermoluminescence sur des formations du Pléistocène supérieur judicieusement choisies apparaît au terme de cet exposé comme un moyen efficace de situer dans le temps les différentes mutations des paléoenvironnements. Les vitesses des transformations peuvent ainsi être précisées : creusement des vallées, durée de vie des lacs, etc... Pour être pleinement exploitable, l'acquisition d'une datation doit être le fruit d'une concertation très étroite entre physiciens, naturalistes, archéologues. Ces premiers résultats encourageants incitent à poursuivre dans la voie pluridisciplinaire adoptée.

BIBLIOGRAPHIE

- Aitken M.J.**, Tite M.S., Reid S., 1963. — Thermoluminescent Dating : progress report. *Archaeometry*, 6, p. 65-75.
- Aloisi J.C.** et Charlet J.M., 1979. — Intérêt de la thermoluminescence dans l'étude de l'alimentation en quartz du Golfe du Lion. *Rev. Geog. Phys. Géol. Dyn.*, (2), XVII, 1, p. 23-38.
- Auriat S.**, 1957.. — Etude de sondages et de captages dans quelques coulées de la Chaîne des Puys. *Rev. Sci. Nat. Auvergne*, 23, 3-4, nouv. sér., p. 99-141.
- Barbetti M.** and Flude K., 1979. — Palaeomagnetic field strengths from sediments baked by lava flows of the Chaîne des Puys, France. *Nature*, 278, n° 5700, p. 153-156.
- Barbetti M.**, Taborin Y., Schmider B., Flude K., 1980. — Archeomagnetic results from late pleistocene hearths at Etiolles and Marsangry, France. *Archaeometry*, 22, 1, p. 25-46.
- Barthelemy**, 1844 — in : *L'annonciateur de la Haute-Loire*, 27 juillet.
- Baudry D.** et Camus G., 1970. — Les maars de la Chaîne des Puys (formations volcaniques du Massif Central français). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), XII, 2, p. 185-189.
- Bealon A.**, 1969. — *La bordure de la Limagne entre Nohanent et Châtel-Guyon*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Faculté des Lettres, Clermont-Ferrand, 106 p.
- Bellon H.**, 1971. — *Datation absolue de laves d'Auvergne par la méthode Potassium-Argon*. Thèse de troisième Cycle, Université de Paris-Sud.
- Berger A.L.**, 1978. — Insolation signature of quaternary climatic changes. in : *Evolution des atmosphères planétaires et climatologie de la terre*, Nice, p. 233-247.
- Bonhommet N.**, 1972. — *Sur la direction d'aimantation des laves de la Chaîne des Puys, et le comportement du champ terrestre en France au cours de l'événement de Laschamp*. Thèse d'Etat, Université de Strasbourg, n° A.O. 7718, 282 p.
- Bonhommet N.** et Babkine J., 1966. — Sur une direction anormale du champ magnétique terrestre au cours du Quaternaire récent. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 262, série B, p. 919-921.
- Bonifay E.**, 1980. — Circonscription d'Auvergne. Informations archéologiques. in : *Gallia Préhistoire*, 23, 2, (1981), p. 337-358.
- Boule M.**, 1892. — *Description géologique du Velay*. Thèse, Faculté de Sciences de Paris, série A, n° 172, N° d'ordre 745, 259 p.
- Boule M.**, 1906. — L'âge des derniers volcans d'Auvergne. *La Géographie*, XIII, 3, p. 177-194, XIII, 4, p. 275-300, XIII, 5, p. 349-369.
- Bout P.**, 1947. — *Sur les Hommes fossiles de Denise à propos du centenaire de leur découverte*. Société Académique du Puy Ed., 64 p.
- Bout P.**, 1958. — Anciens deltas lacustres de la Haute-Loire et des départements proches. *Bull. Soc. Acad. Puy et Haute-Loire*, XXXVII, p. 187-188.
- Bout P.**, 1960. — *Le Villafranchien du Velay et du bassin hydrographique moyen et supérieur de l'Allier*. Thèse, Imprimerie Jeanne d'Arc, Le Puy-en-Velay, 344p.
- Bout P.**, 1978. — *Problèmes du volcanisme en Auvergne et Velay*. Watel, Brioude, 326 p.
- Brousse R.**, 1973. — Chronologie des différentes phases éruptives de la Chaîne des Puys au Quaternaire récent. in : *Le Quaternaire, géodynamique, stratigraphie et environnement*, 9^e Congrès INQUA, Christchurch, p. 105-109.
- Brousse R.**, Michaely B. et Rudel A., 1969a. — Un épisode éruptif de la Chaîne des Puys à — 11 000 ans, contemporain du volcanisme de l'Eifel. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 269, série D, p. 2182-2183.

- Brousse R., Delibrias G., Labeyrie J. et Rudel A., 1969b. — Eléments de chronologie des éruptions de la Chaîne des Puys. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), XI, p. 770-793.
- Brousse R., Horgues M., Montpeyroux J., Rigollot C. et Rudel A., 1969c. — Un épisode éruptif de la Chaîne des Puys à 12 800 ans affecte la coulée de Royat. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 269, série D, p. 1618-1620.
- Brousse R., Maury R.C., Santoire J.P., 1976. — L'âge de la coulée du Tartaret. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 282, série D, p. 531-532.
- Brunhes B. et David P., 1903. — Sur la direction de l'aimantation rémanente dans diverses roches volcaniques. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 137, p. 975.
- Camus G., 1975. — *La Chaîne des Puys. Etude structurale et volcanologique*. Annales scientifiques de l'Université de Clermont, n° 56, 322 p.
- Camus G., De Goer De Herve A., Kieffer G., Mergoill J., Vincent P.M., 1983. — *Volcanologie de la Chaîne des Puys*. Parc naturel régional des volcans d'Auvergne Ed., 2è édité.
- Condomines M., 1978. — Age of the Olby-Laschamps geomagnetic polarity event. *Nature*, 276, p. 257-258.
- Condomines M., Morand P., Camus G., Duthou L., 1982. — Chronological and Geochemical study of lavas from the Chaîne des Puys, Massif Central, France. Evidence for crustal contamination. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 81, p. 296-303.
- Couthures J., 1982. — *Contribution à la chronostratigraphie de formations plio-pleistocènes du Massif Central (France)*. Thèse de 3^e Cycle, Université de Paris 6, 95 p.
- Croizet J.B., 1853. — *Observations générales sur la géologie et la Paléontologie*. Clermont-Ferrand, Hubler, Bayle et Dubos, in-8^o, 65 p.
- Croizet, 1855. — Compte-rendu des découvertes de Neschers in : *Congrès scientifique de France*, XII^e session, Le Puy. Paris, Derache, et Le Puy, Marchesson (1856), p. 295 et 311.
- Daugas J.P., 1977. — Les gisements préhistoriques de la grotte du Cheix à Saint-Diéry et de Neschers (Puy-de-Dôme). in : *La fin des temps glaciaires en Europe*, Coll. intern. C.N.R.S. Ed., (1979), t. 2, p. 537-543.
- De Beaulieu J.L., 1969. — *Etudes françaises sur la Quaternaire*, VIII^e Congrès INQUA, Paris, p. 124-126.
- De Beaulieu J.L. et Gillot, 1972. — Végétations holocènes du Mont-Lozère : analyses polliniques et datages. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 274, p. 1641-1644.
- De Beaulieu J.L. et Reille M., 1978. — Nouvelles analyses polliniques de sédiments tardi-glaciaires et holocènes du Cantal. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 287, p. 73-76.
- Fain J., Erramli H., Miallier D., Montret M., Sanzelle S., 1984. — Environmental Gamma Dosimetry using TL dosimeters : efficiency and absorption calculations. *4th Specialist Seminar on TL and ESR dating*, Worms, Allemagne Fédérale, 24-28 sept. 1984 (sous presse in : *Nuclear Tracks and Radiation Dosimetry*).
- Fleming S.J., 1970. — Thermoluminescence dating : refinement of the quartz inclusion method. *Archaeometry*, 12, p. 135-146.
- Gagny C. et Nicolas A., 1966. — *La séparation des minéraux dans les roches*. Nantes, Faculté des Sciences.
- Gillot P.Y., Cassignol C., 1977. — K/A dating of Laschamp magnetic event. *5th ECOG*, Pisa, Sept. 5-10.
- Gillot P.Y., Valladas G. et Reyss J.L., 1978. — Dating of lava flow using a granitic enclave : application to the Laschamp magnetic event. *P.A.C.T.*, 2, p. 165-173.
- Gillot P.Y., Labeyrie J., Laj C., Valladas G., Guérin G., Poupeau G. and Delibrias G., 1979. — Age of the Laschamp paleomagnetic excursion revisited. *Earth and Planetary Science Letters*, 42, p. 444-450.
- Girod P. et Gauthier P., 1891. — *L'homme préhistorique de Gravenoire*. Br. in-8, 22 p., Paris.
- Glangeaud Ph., 1913. — *Les régions volcaniques du Puy-de-Dôme. II : La Chaîne des Puys et la Petite Chaîne des Puys*. Bulletin des Services de la Carte Géologique de la France et des Topographies Souterraines, 135,, XXII, 256 p.
- Glangeaud L., 1954. — Relations entre les phases éruptives du Petit Puy de Dôme, de Gravenoire et de Clermont-Ferrand. *C.R. Acad. Sc. Paris*, séance du 30 août 1954, p. 614-615.
- Gourgaud A., Boivin P., Camus G., De Goer De Herve A., Kieffer G., Kerinec F., Mergoill J., Vincent P.M., 1979. — Nouvelle interprétation du complexe pyroclastique de La Denise près le Puy en Velay (Haute-Loire). *7è R.A.S.T.*, Lyon, S.G.F. Ed., p. 229.
- Gourinard Y., 1975. — Méthode Potassium-Argon et chronologie quaternaire. *Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire*, 43, p. 83-89.
- Guérin G., Gillot P.Y., Poupeau G., Reyss J.L. et Valladas G., 1979. — Datation du volcanisme quaternaire par thermoluminescence. *7è R.A.S.T.*, Lyon, S.G.F. Ed., p. 237.
- Guérin G. et Valladas G., 1980. — Thermoluminescence dating of volcanic plagioclases. *Nature*, 286, p. 697-699.
- Guérin G., 1983 — *Thermoluminescence des plagioclases. Méthode de datation du volcanisme. Applications au domaine volcanique français : Chaîne des Puys, Mont Dore et Cézallier, Bas Vivarais*. Thèse d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris.

- Guettard J.**, 1752. — Mémoire sur quelques montagnes de France qui ont été des volcans. *Mém. Acad. Roy. Sciences*, p. 27-59.
- Hall C.M. et York D.**, 1978. — K-Ar and Ar⁴⁰/Ar³⁹ age of the Laschamp geomagnetic polarity reversal. *Nature*, 274, 3, p. 462-464.
- Hays J., Imbrie J., Shackleton N.S.**, 1976. — Variations in the Earth's orbit : Pacemaker of the ice ages. *Science*, 194, p. 1121-1132.
- Heintz N. et Oakley K.P.**, 1969. — Datation relative des ossements humains de La Denise. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 268, série D, p. 2873-2874.
- Hetier J.M.**, 1975. — *Formation et évolution des andosols en climat tempéré*. Thèse, Université de Nancy I, 246 p.
- Huxtable J., Aitken M.J. and Bonhommet N.**, 1978. — Thermoluminescence dating of sediment baked by lava flows of the Chaîne des Puys. *Nature*, 275, p. 207-209.
- Laville H.**, 1973. — *Climatologie et chronologie du Paléolithique en Périgord*. Etudes Quaternaires, 4, 422 p., Université de Provence Ed.
- Laville H., Turon J.L., Texier J.P., Raynal J.P., Delpech F., Paquereau M.M., Prat F., Debenath A.**, 1983. — Histoire paléoclimatique de l'Aquitaine et du Golfe de Gascogne au Pleistocène supérieur depuis le dernier interglaciaire. in : *Paléoclimats*, Cahiers du Quaternaire, n° spécial, CNRS Ed., p. 219-241.
- Laville H., Raynal J.P., Texier J.P.**, 1984. — Interglaciaire... ou déjà glaciaire ? *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, 81, 1, p. 8-11.
- Lyell C.**, 1845. — On the Age of the newest Lava Current of Auvergne, with remarks on some Tertiary Fossils of that Country. *Quat. Journ. géol. Soc. London*, II, 2^e partie, (19 novembre), p. 75-80.
- Miallier D.**, 1982. — *L'usage des détecteurs solides de traces dans le cadre de la datation par thermoluminescence*. Thèse de 3^e Cycle, Université de Clermont II, 107 p.
- Miallier D., Fain J., Sanzelle S., Daugas J.P., Raynal J.P.**, 1983. — Dating of the Butte de Clermont basaltic maar by means of the quartz inclusion method. *P.A.C.T.*, 9, p. 487-498.
- Miallier D., Fain J., Sanzelle S., Raynal J.P., Daugas J.P., Paquereau M.M.**, 1984a. — Datation du volcanisme quaternaire du Massif Central français par la méthode des inclusions du quartz en thermoluminescence et comparaison avec d'autres approches. *10^e R.A.S.T.*, Bordeaux, S.G.F.. Ed., p. 396.
- Miallier D., Fain J., Sanzelle S., Raynal J.P., Daugas J.P., Paquereau M.M.**, 1984b. — Single quartz grains thermoluminescence dating : an approach for the complex materials. *National symposium on thermally stimulated luminescence and related phenomena*. Navrangpura, Ahmedabad, India (sous presse in : *Nuclear Tracks and Radiation Dosimetry*, décembre 1984).
- Morand P., Condomines M., Allegre C.J.**, 1978. — Déséquilibres ²³⁰Th-²³⁸U dans quelques laves de la Chaîne des Puys. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 286, série D, p. 1845-1848.
- Pages Allary P. et Vergniere A.**, 1927. — La station néolithique de Neschers. *Revue d'Auvergne*, 41, 10, p. 329-341.
- Pelletier H., Delibrias G., Labeyrie J., Perquis M.T., Rudel A.**, 1959. — Mesure de l'âge de l'une des coulées volcaniques issues du Puy de la Vache (Puy de Dôme) par la méthode du carbone ¹⁴. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 214, p. 2221.
- Pelletier H.**, 1963. — Observations géologiques sur les carrières de sable de Saint-Hippolyte. *Revue d'Auvergne*, 77, p. 141-145.
- Pelletier H.**, 1965. — Sur quelques sondages près de la rue de l'Etang à Clermont-Ferrand. *Rev. Sci. Nat. Auvergne*, nouv. sér., 31, 1-2-3-4, p. 13-23.
- Pelletier H.**, 1966. — Etude des sables de Saint-Hippolyte. *Revue d'Auvergne*, 425, p. 147-150.
- Pelletier H.**, 1969. — Clermont est-il bâti sur un volcan ? *Auvergne-Magazine*, février 1969, 18, p. 2-8.
- Pelletier H.**, 1974. — A propos de quelques maars de la Chaîne des Puys. *Bull. Hist. Scient. Auvergne*, 640, p. 195-199.
- Pelletier H. et Rudel A.**, 1958. — Sur l'âge de quelques volcans de la Chaîne des Puys. *Rev. Sci. Nat. Auvergne*, 24, nouvelle série (1960, p. 117-121.
- Pomel A.**, 1843. — Compte-rendu des découvertes de Neschers et Parentignat. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XIV, 1^{ère} série, p. 206 et p. 595.
- Pommerol F.**, 1876. — Existence de l'homme en Auvergne à l'époque du renne et des volcans à cratère. *A.F.A.S.*, 5^e session, Clermont-Ferrand, vol. 2 p. 661-668.
- Pommerol F.**, 1880. — L'âge du volcan de Grave-noire. *A.F.A.S.*, 9^e session, Reims, (1881), p. 72-78.
- Raynal J.P., Daugas J.P., Pelletier H.**, 1979. — Etudes quaternaires en grande Limagne d'Auvergne II. — Les dépôts de versant du Creux-Rouge, commune de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme). *Nouv. Arch. Museum Hist. Nat. Lyon*, 17, suppl., p. 87-95.
- Raynal J.P., Daugas J.P., Paquereau M.M., Miallier D., Fain J., Sanzelle S.**, 1982. — Première datation du maar basaltique de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme, France) : Stratigraphie, palynologie, thermoluminescence. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 295, série II, p. 1011-1014.
- Roche A.**, 1953. — *Etude sur l'aimantation des roches volcaniques tertiaires et quaternaires d'Auvergne et du Velay*. Thèse, Paris, 215 p.

- Ropech P. et Bonhommet N.**, 1982. — Baked contact test and paleointensity results from the Lashamp-Olby flows. *E.G.S.*, Leeds.
- Rudel A.**, 1957. — Histoire géologique du Puy de Gravenoire. *Bull. Hist. Scient. Auvergne*, 577, p. 159-170.
- Salis B. et Bonhommet N.**, 1984. — Paléointensité de la lave de la coulée de Saint-Saturnin (Chaîne des Puys). *10è R.A.S.T.*, Bordeaux, S.G.F. Ed., p. 497.
- Sanzelle S., Fain J., Miallier D.**, 1983. — TL dating : alpha dosimetry using solid state tracks detectors. *P.A.C.T.*, 9.
- Texier J.P.**, 1982. — *Les formations superficielles du bassin de l'Isle*. Cahiers du Quaternaire, 4, CNRS Ed., 316 p.
- Texier J.P., Raynal J.P., Laville H., Paquereau M.M., Prat F., Debenath A., Delpech F.**, 1983. — Histoire paléoclimatique de l'Aquitaine du Pleistocène ancien au dernier interglaciaire. in : *Paléoclimats*, Cahiers du Quaternaire, CNRS Ed., n° spécial, p. 207-217.
- Thuizat R.**, 1973. — *Les sources thermo-minérales de Châtel-Guyon et leur environnement géologique (Massif Central français)*. Thèse de 3^e Cycle, Département de Géologie-Minéralogie, Université de Clermont.
- Turon J.L.**, 1984. — Direct land-sea correlations in the last interglacial complex. *Nature*, 309, 5970, p. 673-676.
- Valladas G.**, 1978. — A problem encountered in dating quartz by thermoluminescence. *Proceedings of the 18th International Symposium on Archaeometry and Archaeological Prospection*. Bonn, March 1978.
- Valladas G.**, 1979. — A gamma ray irradiator. *P.A.C.T.*, 3; p. 439-442.
- Valladas G. et Gillot P.Y.**, 1978. — Dating of the Olby lava flow using heated quartz pebbles : some problems. *P.A.C.T.*, 2, p. 141-150.
- Vergnette**, 1927. — Eclaircissements géologiques sur la région de Sarliève. *Revue d'Auvergne*, XLI, 8, p. 257-269.
- Wintle A.**, 1973. — Anomalous fading of Thermoluminescence in Mineral Samples. *Nature*, 245, p. 143-144.
- Woillard G.**, 1978. — Grande Pile Peat Bog : A continuous Pollen Record for the Last 140 000 Years. *Quaternary Research*, 9, p. 1-21.